



Escola Universitària d'Enginyeria  
Tècnica Industrial de Barcelona  
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

**Volumen I**  
Memoria técnica

# DESARROLLO DE UNA UNIDAD DE ADQUISICIÓN Y MONITORIZACIÓN DE DATOS PARA UN VEHICULO DE AUTOMOCIÓN

TFG presentado para optar al título de GRADO en  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y  
AUTOMÁTICA

por **Daniel Bassons González, Marc Mestre  
López**

Barcelona, 11 de Enero de 2016

Director: Manuel Manzanares Brotons  
Departamento de EEL (D710)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

# Tabla de contenido de memoria técnica

<b>1. OBJETO DEL PROYECTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>3. ESPECIFICACIONES BÁSICAS .....</b>	<b>7</b>
<b>4. POSIBLES SOLUCIONES .....</b>	<b>9</b>
4.1. Sensores .....	9
4.2. Filtrado y acondicionado.....	10
4.2.1. Filtrado .....	10
4.2.2. Acondicionado.....	10
4.3. Convertidor analógico-digital.....	11
4.4. Microcontrolador .....	11
4.5. Memoria externa .....	12
4.6. Comunicación.....	13
4.7. Software externo .....	13
<b>5. SOLUCIÓN ESCOGIDA.....</b>	<b>15</b>
5.1. Sensores .....	15
5.1.1. Temperatura .....	15
5.1.2. Dióxido de carbono (CO2) .....	17
5.1.3. Consumo de combustible .....	18
5.1.4. RPM .....	20
5.1.5. Velocidad.....	22
5.2. Filtrado y acondicionado.....	22
5.2.1. Filtrado .....	22
5.2.2. Acondicionado.....	24
5.3. Convertidor analógico-digital.....	25
5.4. Microcontrolador .....	26
5.5. Memoria externa .....	30
5.6. Comunicación.....	33
5.7. Software externo .....	34
<b>6. HARDWARE .....</b>	<b>35</b>

6.1. Etapa de potencia .....	35
6.2. Acondicionamiento de las señales de entrada .....	39
6.2.1. Acondicionamiento de la señal del sensor NTC.....	39
6.2.2. Acondicionamiento de la señal del sensor de CO2.....	40
6.2.3. Acondicionamiento de la señal del sensor MAP.....	41
6.2.4. Acondicionamiento de la señal del sensor de RPM y SPD .....	42
6.3. Configuración del microcontrolador.....	45
6.4. Acondicionamiento de las señales de salida .....	47
6.5. Almacenamiento y transmisión de datos .....	49
<b>7. DISEÑO DE LA PCB.....</b>	<b>50</b>
<b>8. SIMULACIONES.....</b>	<b>53</b>
8.1. Sensor NTC .....	53
8.2. Sensor de CO2.....	54
8.3. Sensor MAP .....	54
8.4. Sensor de RPM y SPD .....	55
8.5. Filtro pasa-bajos de primer orden .....	56
8.6. Etapa de potencia .....	57
8.7. Visualización por LCD .....	58
8.7.1. Sensor NTC .....	58
8.7.1. Sensor de CO2 .....	58
8.7.1. Sensor MAP .....	59
8.7.1. Sensor SPD .....	59
8.7.1. Sensor de RPM .....	59
<b>9. COMUNICACIONES.....</b>	<b>60</b>
9.1. Características de la comunicación serie .....	60
9.1.1. Codificación .....	60
9.1.2. Velocidad de transmisión.....	60
9.1.3. Reloj.....	61
9.1.4. Líneas o canales de comunicación .....	61
9.2. Modos de transmisión .....	62
9.2.1. La transmisión asíncrona .....	62
9.2.1.1. Bit de inicio y bit de parada .....	63

9.2.1.2. reglas de transmisión asíncrona .....	63
9.2.1.3. Velocidad de transmisión .....	64
9.2.2. La transmisión síncrona .....	64
9.3. Detectar errores en la comunicación.....	65
<b>10. SOFTWARE .....</b>	<b>66</b>
10.1. Diagrama de flujo .....	66
10.2. Software interno .....	67
10.2.1. Termistor NTC .....	67
10.2.2. concentración de CO2 .....	68
10.2.3. Sensor de velocidad .....	68
10.2.4. Sensor de RPM .....	69
10.2.5. Consumo de combustible .....	70
10.3. Software externo .....	72
<b>11. NORMATIVA.....</b>	<b>73</b>
11.1. Normativa de protección frente a cargas electroestáticas .....	73
11.1.1. Componentes sensibles a la carga electroestática .....	73
11.1.2. Posibles daños en componentes.....	73
11.1.3. Cómo el ESD puede afectar a los dispositivos y circuitos .....	73
11.1.4. Nivel de sensibilidad de los dispositivos electrónicos al ESD .....	75
11.1.5. Mecanismos de fallos en ESD.....	75
11.1.6. Clasificación de los fallos debido al ESD .....	76
11.1.7. Algunos fallos típicos debidos a descarga electroestática.....	76
11.2. Normativa de interferencia eléctricas .....	77
11.2.1. Acoplo conductivo.....	79
11.2.2. Interferencias eléctricas y magnéticas.....	80
11.2.3. Interferencias por campo eléctrico o capacitivo .....	80
11.2.4. Blindajes, apantallamientos y puestas a tierra .....	81
11.3. Normativa diseño PCB .....	82
11.4. Normativa RS-232 .....	83
11.4.1. Señales de la RS-232 .....	84
<b>12. PLANIFICACIÓN .....</b>	<b>85</b>
<b>13. POSIBLES MEJORAS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>86</b>

13.1. Mejoras en diseño.....	86
13.2. Mejoras en funcionalidad .....	86
13.3. Mejoras en comunicación.....	86
13.4. Mejoras en software externo .....	86
13.5. Mejoras en packaging .....	87
13.6. Conclusiones .....	87
<b>14. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>89</b>

## Capítulo 1

# Objeto del proyecto

Un sistema de adquisición y monitorización de datos consiste en captar ciertas magnitudes analógicas o señales digitales, las cuales se procesan y filtran para una posterior visualización o monitorización de seguimiento. Estas señales pueden posteriormente ser motivo de estudio o análisis en intervalos de tiempo, en tiempo real o en determinados instantes de tiempo.

En este caso el vehículo de automoción con el que se desarrollará el proyecto será una motocicleta sin un modelo o marca en concreto. Se incorporarán al modelo 5 sensores, los cuales, captarán unas señales que posteriormente serán procesadas y almacenadas en un memoria externa.

El modelo prototipo electrónico diseñado constará de una batería autónoma que permitirá que el usuario pueda llevárselo a casa.

Todos los datos almacenados serán capaces de visualizarse mediante una conexión USB a PC. El entorno gráfico para ver y analizar los datos será mediante algún software que permita la comunicación entre el prototipo electrónico y el PC. Con este software el usuario será capaz de ver mediante datos su forma de conducir en determinados momentos o tramos. Con ello se espera que el usuario aprenda de sí mismo y mejore como conductor.

Este prototipo electrónico también podría ser usado para analizar y estudiar el comportamiento del vehículo en ciertas circunstancias y condiciones. También tendría uso en el ámbito de pruebas de rendimiento en posteriores evoluciones del vehículo.

## Capítulo 2

# Motivación y justificación

A lo largo de toda la historia de la evolución humana, el conocimiento, el desarrollo y las innovaciones tecnológicas han sido posibles gracias a la experiencia y estudio. Para conseguir mejorar cualquier cosa es necesario saber cómo funciona y ver cómo reacciona a ciertas pruebas. Es por ello que, aunque una prueba no sea satisfactoria, de analizar muchas de ellas se puede llegar a sacar una buena conclusión para mejorar o crear nuevas tecnologías.

Así mismo es como surge el planteamiento de este proyecto, el cual se basa en analizar un conjunto de datos para que posteriormente su usuario o conjunto de usuarios saquen sus propias conclusiones. Ya sea para mejorar el estilo de conducción y ahorrar combustible, para hacer pruebas de stress en talleres, para probar ciertas mejoras en el rendimiento del vehículo o incluso para registrar datos que podrían serle de utilidad a aseguradoras de vehículos en casos de accidente.

Como puede verse las posibilidades de uso son infinitas, pero lo más importante es la conclusión que cada uno quiere obtener en el ámbito de uso que quiera darle. Y para que eso ocurra es necesario tener una herramienta de adquisición y visualización de datos donde los usuarios puedan aprender y sacar sus propias conclusiones.

Por todo lo descrito anteriormente se procede a crear un prototipo electrónico que sirva de herramienta de conocimiento y estudio.

## Capítulo 3

# Especificaciones básicas

El prototipo electrónico diseñado tiene que ser capaz de captar 3 magnitudes analógicas y 2 señales digitales.

### **Analógicas:**

- Temperatura
- Consumo de combustible
- Concentración de CO<sub>2</sub>

### **Digitales:**

- Revoluciones por minuto (RPM)
- Velocidad del vehículo

Estas magnitudes y señales tienen que ser acondicionadas y disponer de filtros anti-ruido para evitar las distorsiones en las señales. Ya que se trata de un dispositivo electrónico para usarse en el ámbito automovilístico, este estará expuesto a armónicos creados por las chispas de la bugía. Es por ello, que se crearan filtros pasabajos para mitigar posibles interferencias con las señales de operación.

El prototipo electrónico se alimentará de la batería del vehículo mientras este en este, y luego dispondrá de una batería autónoma para que el dispositivo sea portable.

Ya que el sistema constará tanto de señales analógicas como digitales, se necesitará un convertidor analógico-digital (ADC) el cual convertirá a niveles altos o bajos la señal para poder trabajar con ella a posteriori.

Una vez ya se obtengan las señales limpias se necesitará un microcontrolador capaz de organizar toda la información. El cual, mediante software, se encargará de sacar la información procesada digital por la pantalla "LCD" y comunicación USB externa. El microcontrolador también se encargará del funcionamiento del dispositivo electrónico.



El prototipo tendrá una pantalla "LCD" donde el usuario podrá observar a tiempo real las magnitudes, ya procesadas, captadas por los sensores. Y mediante un botón el usuario será capaz de cambiar la visualización de las diferentes medidas captadas.

Además de todo lo descrito anteriormente el dispositivo electrónico necesitará disponer de una memoria externa, en la cual se guardarán todos los datos leídos por el microcontrolador.

El prototipo dispondrá de una serie de botones y LEDS que permitirá al usuario un mejor entendimiento del funcionamiento del dispositivo.

Finalmente, el prototipo tendrá que tener una salida de datos USB/RS-232 para transmitir los datos al PC. En el cual, mediante un software de visualización de datos, se podrá visualizar y analizar los datos obtenidos durante la adquisición de datos.

**Resumen:**

- 5 sensores
- Etapa de filtrado y acondicionado
- Convertidor analógico-digital
- Microcontrolador
- Pantalla LCD
- Memoria externa
- Botones y LEDS para el usuario
- Comunicación USB
- Batería autónoma
- Software de visualización y análisis

## Capítulo 4

# Posibles soluciones

### 4.1. Sensores

Existen muchos tipos de sensores y todos trabajan diferente. Se podría hablar sobre:

- Qué tipo de salida proporcionan, si lineales o no-lineales
- Qué rango de trabajo tienen
- Qué alimentación necesitan
- Qué condiciones de trabajo soportan (temperatura, humedad, polvo...)
- Qué etapa acondicionara requerirá
- Y más especificaciones técnicas

Por lo tanto, antes de realizar el diseño del prototipo electrónico hay que documentarse de qué tipo de sensores dispone el mercado para luego poder adaptar el diseño a estos sensores.

En este caso hay que tener en cuenta ciertos **factores**:

- El diseño está destinado para uso automovilístico, por lo tanto puede estar expuesto a factores climáticos de forma directa como podría ser la lluvia.
- Siempre que se pueda se elegirán sensores lineales porque son más simples de trabajar con ellos. En caso de que no exista ese tipo de sensor con salida lineal se puede solventar mediante software de programación.
- El rango de trabajo de los sensores no suele ser mucho problema, ya que con una etapa acondicionadora con amplificadores suele ser suficiente para conseguir la señal deseada. No obstante, si se puede conseguir sensores con rangos de trabajos ideales para su post-procesamiento no dudar en elegir estos.
- Intentar que todos los sensores del prototipo o la mayoría sean compatibles con una fuente de alimentación idéntica para evitar complicar el hardware.

## 4.2. Filtrado y acondicionado

### 4.2.1. Filtrado

Los filtros son esenciales en un diseño electrónico, ya que protegen la señal de ciertas frecuencias indeseadas, como podrían ser ruidos o interferencias. A la hora de diseñar los filtros, se tiene que tener en cuenta con qué frecuencia trabaja el prototipo electrónico y que frecuencias pueden interferir en el sistema. Por ello hay que analizar el sistema donde será usado el prototipo. En este caso será un sistema de automoción, en el cual la mayor parte de interferencias, que podrían alterar las señales de los sensores, sean ruido o interferencias debido a las chispas de la bugía.

Existen los **filtros pasivos**, creados con componentes pasivos, y los **filtros activos** que suelen usar amplificadores operacionales, que pueden presentar ganancias en la señal.

Tanto los filtros pasivos como filtros activos tienen un objetivo en común, y es no dejar pasar cierto rango de frecuencias. Existe una clasificación de **tipos de filtro** según lo que se desee filtrar:

- Filtro pasa-bajos
- Filtro pasa-altos
- Filtro pasa-banda
- Filtro rechaza-banda

Finalmente también hay que tener en cuenta el orden del filtro, ya que mediante células de primer y segundo orden se pueden crear filtros de orden "n". Las topologías más usadas para los filtros activos de orden 2 o más, suelen ser las de "Rauch" y "Sallen-key". Estos pueden ser resueltos mediante funciones polinomiales o no polinomiales según el uso que se busque.

### 4.2.2. Acondicionado

En este apartado lo importante es tener en cuenta que tipo de señales entregarán los sensores al sistema, ya que muchos de estos pueden entregar señales muy débiles, que pueden ser distorsionadas por el ruido, o que no tienen mucho rango de trabajo. Es por ello que se usan etapas acondicionadoras, para adaptar dichas señales a otras con las cuales poder trabajar más cómodamente.

La etapa acondicionadora normalmente está basada en amplificadores operacionales, resistencias, condensadores y diodos, que permiten modificar la señal mediante ganancias, recortes o generadores de ondas.

### 4.3. Convertidor analógico-digital

Los convertidores analógico-digitales son indispensables, ya que hoy en día la electrónica digital está en pleno auge. Todo prototipo electrónico que disponga de entradas analógicas y un microcontrolador es necesario que disponga de un convertidor analógico-digital, ya que el microcontrolador trabaja de forma digital y las señales, una vez convertidas a niveles altos o bajos, pueden ser usadas de forma más eficaz y efectivas por otros dispositivos digitales como podrían ser visualizadores o puertos de comunicación.

Dentro de los convertidores analógico-digitales, en el mercado, se pueden encontrar integrados específicos con una determinada resolución en bits y velocidad de muestreo. Por otro lado, dependiendo de qué tipo de finalidad tenga el prototipo electrónico, si el diseño dispone de un microcontrolador, existen algunos con convertidores analógico-digital integrados en el mismo.

Si el sistema electrónico a diseñar dispone de múltiples canales analógicos a convertir y no se dispone de un microcontrolador con convertidor analógico digital integrado, la mejor opción es diseñar un muestro simultaneo multicanal mediante un multiplexor y un "Sample and Hold" para cada entrada analógica, permitiendo así, mediante solo un integrado convertidor analógico-digital, convertir todas las señales simultáneamente.

### 4.4. Microcontrolador

El microcontrolador es el cerebro digital de todo diseño electrónico, y existen muchísimos tipos. A la hora de seleccionar el microcontrolador para un prototipo electrónico hay que tener muchas cosas en cuenta, ya que estos pueden incorporar muchos periféricos al sistema y así simplificar el diseño.

Las **características principales** a la hora de elegir un microcontrolador que se adapte al circuito serían:

- Fabricante (Microchip, Atmel, Intel...)
- Ancho del bus de datos ( 8,16,32 bits)
- Memoria flash interna
- Memoria RAM
- Frecuencia máxima
- Tensión de alimentación
- Periféricos

Dentro de los **periféricos** se encuentran muchas opciones interesantes:

- Número de E/S analógicas
- Número de unidades PWM
- Convertidor analógico-digital
- Número de canales del convertidor analógico-digital
- Número de temporizadores
- Número de contadores
- Número de comparadores
- Puertos de comunicación ( I2C, SPI, USB, CAN)
- Extras específicos (módulos incorporados)

## 4.5. Memoria externa

Los microcontroladores suelen tener memorias internas pequeñas, es por eso que se suelen usar memorias externas en casi todos los dispositivos electrónicos que requieran almacenar datos.

En este caso, el proyecto se basa en adquirir datos y guardarlos para su posterior uso. Por ello, es necesario disponer de una memoria externa capaz de memorizar una gran cantidad de datos.

Existen varios **tipos de memoria**:

- RAM (memoria temporal dinámica)
- ROM (no programable, sólo lectura)
- PROM (programable, sólo lectura)
- EPROM (programable, se puede borrar)
- EEPROM (reprogramable)
- FLASH (reprogramable, tecnología actual)

Dependiendo del uso que se le quiera dar a la memoria externa hay que elegir cual se adapta mejor a las necesidades. Actualmente casi todas las memorias comerciales de dispositivos electrónicos a nivel usuario y consumidor suelen ser las memorias FLASH, no obstante para prototipos electrónicos o pequeños diseños también se siguen utilizando memorias de tipo EEPROM, que poco a poco se están dejando de utilizar.

En algunos casos, se puede usar una memoria ROM para que esta no pueda ser modificada.

## 4.6. Comunicación

En este tipo de proyecto es esencial la comunicación del prototipo electrónico con un PC, para que el usuario sea capaz de poder analizar los resultados obtenidos durante la toma de datos.

Hoy en día, aunque la tecnología busca la transmisión de datos sin cables, la comunicación vía cable es la más utilizada. Dentro de la tecnología cableada, la que más se usa para transmitir datos es la comunicación USB o RS232.

Poco a poco la comunicación RS232 se está viendo substituida por la comunicación USB, de la que ya disponen la mayoría de dispositivos electrónicos de esta década. A pesar de ello, muchas empresas disponen de mucha maquinaria y dispositivos electrónicos que siguen usando la comunicación RS232.

Las **características principales** de la comunicación **RS232** son:

- La velocidad de transmisión (Bauds)
- Líneas de comunicación (Simplex, Half Duplex, Full Duplex)
- Modo de transmisión (asíncrono, síncrono)
- Detecta errores de comunicación
- Una normativa bien definida

Las **características principales** de la comunicación **USB** son:

- Alta velocidad de transferencia
- Conexión de 4 hilos mediante un conector tipo A o B
- Topología en bus o estrella
- Permite alimentar los dispositivos electrónicos conectados
- Permite conexión en caliente (Plug & Play)

## 4.7. Software externo

Una vez ya se tienen los datos registrados y la comunicación preparada se necesita un software capaz de visualizar todos los datos previamente capturados, donde el usuario sea capaz de ver, entender y analizar los datos.

Actualmente existe una gran variedad de software que incluyen la función de comunicarse con dispositivos para leer datos o incluso enviar datos de vuelta.

Algunos ejemplos de software para visualización de datos son:

- Hercules
- HyperTerminal
- Serial port monitor
- Labview

Los 3 primeros software permiten una conexión de comunicación simple y directa de puertos serie (COM). Mediante una simple configuración de bauds, bits de mensaje, parada y tipo de paridad se consigue un protocolo de comunicación que permite una transferencia de datos entre emisor y receptor de forma ordenada.

En cambio, el último software de los mencionados es mucho más potente que los anteriores y goza de reconocimiento internacional. Labview es una potente herramienta de visualización y análisis que permite tanto comunicaciones "COM" como USB, además de disponer herramientas de programación, historiales y gráficos que permiten una mejor visualización de los datos obtenidos.

## Capítulo 5

# Solución escogida

### 5.1. Sensores

El prototipo electrónico constará de 5 sensores.

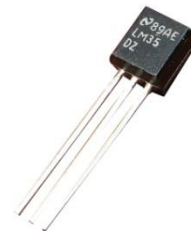
#### 5.1.1. Temperatura

El sensor de temperatura elegido tiene que trabajar dentro de un vehículo de automoción.

Los sensores de temperatura más utilizados son los siguientes:

##### LM35

- Calibrado en Celsius
- Sensor lineal
- 0,5 °C de precisión ( en 25 °C)
- Opera desde 4 a 30 V
- Rango de temperatura -55 °C a 150 °C
- Baja impedancia de salida 0,1  $\Omega$  para 1 mA



**Figura 1.** Sensor LM35

**Tabla 1.** Valores máximos absolutos

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage		-0.2	35	V
Output voltage		-1	6	V
Output current			10	mA
Maximum Junction Temperature, $T_{Jmax}$			150	°C
Storage Temperature, $T_{stg}$	TO-CAN, TO-92 Package	-60	150	°C
	TO-220, SOIC Package	-65	150	



### Termistor (NTC)

- No calibrado en Celsius
- Sensor no lineal
- Muy resistente al calor
- Resistencia 100 k $\Omega$  (25 °C)
- Rango de temperatura hasta 300 °C
- Tamaño muy pequeño



**Figura 2.** Termistor (NTC) B57550G

A simple vista parece mucho mejor el sensor LM35 ya que no necesita calibración y es lineal, lo que simplifica la programación. No obstante, lo más importante es que el campo de uso de este sensor es en la automoción cerca de un motor de explosión, lo que implica que el rango de temperatura debe ser elevado y tiene que ser resistente al calor. Sabiendo esto y observando la tabla 2, se puede ver que el termistor NTC está mucho mejor preparado para dicha finalidad.

**Tabla 2.** Ensayo AEC Q200, Rev. D

Test	Standard	Test conditions	$\Delta R_{25}/R_{25}$ (typical)	Remarks
High temperature exposure (storage)	MIL-STD-202, method 108	Storage at T = +125 °C t = 1000 h	< 2%	No visible damage
Operational life	MIL-STD-202, method 108	1000 h / +125 °C Test voltage max. 0.3 V DC on NTC <sup>1)</sup>	< 2%	No visible damage
Temperature cycling	JESD 22, method JA-104	Lower test temperature: -55 °C Upper test temperature: 125 °C 1000 cycles Dwell time: max. 30 min at each temperature Transition time in air: max. 1 min	< 2%	No visible damage
Terminal strength (lead)	MIL-STD-202, method 211	Test leaded device integrity Condition A: 2.27 N <sup>2)</sup>	< 1%	No visible damage
Mechanical shock	MIL-STD-202, method 213, condition C	Acceleration: 40 g <sup>2)</sup> Pulse duration: 6 ms Number of bumps: 3, each direction	< 1%	No visible damage
Vibration	MIL-STD-202, method 204	Acceleration: 5 g t = 20 min 12 cycles in each of 3 directions Frequency range: 10 to 2000 Hz	< 1%	No visible damage

El **sensor** de temperatura **elegido** es:

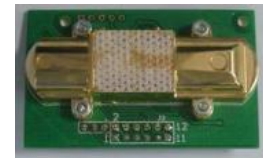
*Termistor (NTC) B57550G*

### 5.1.2. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Dentro de los sensores de dióxido de carbono no existe mucha variedad. Se podrían clasificar en dos tipos:

#### Infrarrojos no dispersivos

La concentración de gas se mide electroópticamente por la absorción de una determinada longitud de onda en el infrarrojo (IR).



**Figura 3.** Módulo MH-Z14

**Tabla3.** Especificaciones técnicas del módulo MH-Z14

Detection range	0~10000ppm ( optional )
Resolution ratio	5ppm ( 0~2000ppm )
	10ppm ( 2000~5000ppm )
	20ppm ( 5000~10000ppm )
Accuracy	±50ppm±5%
Repeatability	±30ppm
Responsible time	<30S
Warm-up time	3min
Working temprature	0~50℃
Working humidity	0%~90%RH ( No condensation )
Storage temprature	-20~60℃
Working voltage	4~6V
Working current	Max current <100mA, Average current <50mA
Usingage	>5year

#### Cálculo de concentración de CO<sub>2</sub>

Funcionan mediante unas reacciones químicas en los electrodos. Dependiendo de la concentración de CO<sub>2</sub> se crea una fuerza electromotriz que es la que permite, mediante una aproximación logarítmica, calcular la concentración de CO<sub>2</sub>.



**Figura 4.** Sensor MG811

**Tabla 4.** Especificaciones técnicas del sensor MG811

Symbol	Parameter Name	Technical	Remarks
$V_H$	Heating Voltage	$5.0 \pm 0.1 \text{ V}$	AC or DC
$R_H$	Heating Resistor	$30.0 \pm 5\% \Omega$	Room Temperature
$I_H$	Heating Current	@200mA	
$P_H$	Heating Power	@1200mW	
$T_{ao}$	Operating Temperature	-20—50	
$T_{as}$	Storage Temperature	-20—70	
EMF	Output	250 — 325 mV	350—10000ppmCO2

Tanto el módulo MH-Z14 como el sensor MG811 son compatibles con el prototipo electrónico a diseñar, pero el sensor MG811 tiene una conexión mucho más simple que la del módulo MH-Z14, además de ser mucho más barato.

El **sensor** de CO2 **elegido** es:

*Sensor de CO2 MG811*

### 5.1.3. Consumo de combustible

Debido a que no existe ningún sensor capaz de medir ni captar el consumo de combustible directamente, hay que recurrir a sensores que puedan hacerlo de manera indirecta mediante variables que si puedan.

Los más usados en el campo de la automoción son:

#### **Sensores MAF**

El principio de funcionamiento de estos sensores se basa en medir el volumen de aire que entra al motor y su señal se interpreta en caudal (g/s). Posteriormente la señal es procesada por una PCM que mediante el caudal de aire y otros parámetros, se adquiere el consumo del vehículo.



**Figura 5.** Sensor AWM720P1

**Tabla 5.** Especificaciones técnicas del sensor AWM720P1

Flow Range (Full Scale) + 200 SLPM				
	Min.	Typ.	Max.	Units
Excitation (1)	9.990	10.000	10.010	Vdc
Power Supply	8.000	10.000	15.000	Vdc
Power Consumption			60	mW
Output Load				
Sinking		10		mA
Sourcing		20		mA
Calibration gas		Air		
Null Voltage Shift				
+25°C to -25°C, +25°C to +85°C		± .025 typ.		Vdc
Full Scale Output Shift				
+25°C to +10°C		-2.0		% Reading
+25°C to +40°C		+2.0		% Reading
Ratiometricity Error (1)		± 0.30 typ.		% Reading
Repeatability and Hysteresis (2)		± 0.50		% Reading
Response Time		6 typ.		ms
Pressure Drop @ Full Scale		1.0 typ. 2.5 typ.		inch H <sub>2</sub> O mBar
Overpressure		25 max.		psi
Temperature Range				
Operating		-25°C to +85°C [-13°F to +185°F]		
Storage		-40°C to +90°C [-40°F to +194°F]		
Weight		34 [1.20 oz]		gram
Connector—4 pin receptacle		AMP 103956-3 (provided with sensor)		

## Sensores MAP

Los sensores MAP captan la presión absoluta de aire en la salida del motor. Con esta presión, sabiendo las RPM y la cilindrada del vehículo y algunos parámetros más, se puede llegar a calcular el consumo de combustible.



**Figura 6.** Sensor MPX4250A

**Tabla 6.** Especificaciones técnicas del sensor MPX4250A

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Differential Pressure Range	P <sub>OP</sub>	20	—	250	kPa
Supply Voltage	V <sub>S</sub>	4.85	5.1	5.35	V <sub>DC</sub>
Supply Current	I <sub>O</sub>	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset (0 to 85°C) @ V <sub>S</sub> = 5.1 Volts	V <sub>OFF</sub>	0.133	0.204	0.274	V <sub>DC</sub>
Full Scale Output (0 to 85°C) @ V <sub>S</sub> = 5.1 Volts	V <sub>FSO</sub>	4.826	4.896	4.966	V <sub>DC</sub>
Full Scale Span (0 to 85°C) @ V <sub>S</sub> = 5.1 Volts	V <sub>FSS</sub>	—	4.692	—	V <sub>DC</sub>
Accuracy (0 to 85°C)	—	—	—	±1.5	%V <sub>FSS</sub>
Sensitivity	ΔV/ΔP	—	20	—	mV/kPa
Response Time	t <sub>R</sub>	—	1.0	—	msec
Output Source Current at Full Scale Output	I <sub>O</sub> <sup>+</sup>	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time	—	—	20	—	msec
Offset Stability	—	—	±0.5	—	%V <sub>FSS</sub>

Una vez comparados ambos tipos de sensores, se tiene que el sensor MAF necesita una alimentación de 10 V mientras que el sensor MAP necesita una de 5 V. Además el sensor MAP puede adquirir mediante una formula el consumo de combustible del vehículo.

El **sensor** de combustible **elegido** es:

*Sensor MAP MPX4250A*

### 5.1.4. RPM

Existen varios métodos para calcular las revoluciones por minutos de un motor. Los más utilizados en el campo de la automoción son los siguientes.

#### Sensores de revoluciones inductivos

Mediante una rueda dentada se y un imán permanente se crea una flujo magnético que varía dependiendo de los diente y huecos. Estos cambios en el flujo magnético inducen en la bobina una tensión sinusoidal de salida que es proporcional a la velocidad de las variaciones y, por tanto, al número de revoluciones.

Este tipo de sensores son creados por las mismas marcas de vehículos y cada una tiene sus propios sensores adaptados al vehículo. Por tanto, la única opción viable seria construir el sensor a partir de un sensor inductivo con devanados laterales.



**Figura 7.** Partes sensor revoluciones

**Tabla 7.** Especificaciones técnicas del sensor inductivo IFS-204

Diseño	Cilíndrico con roscado
Tipo de montaje	Enrasado ?
? Rango de detección	4 mm
Tensión de trabajo mín.	10 V
Tensión de trabajo máx.	36 V
Tensión	DC ?
Función de salida	Normalmente abierto (NA)
? Corriente de salida máx.	100 mA
? Frec. de conmutación	700 Hz
? Protección contra cortocircuitos	si
? Protección contra polaridad inversa	si



**Figura 8.** Sensor inductivo IFS-204

## Sensores de efecto hall

Estos sensores tienen diferentes versiones como podrían ser los unipolares o los bipolares y pueden servir para varias aplicaciones. En cualquier modo, lo importante es que pueden ser usados para mandar un pulso de corriente cada vez que detectan un campo magnético.

De esta forma se puede crear, mediante la colocación de un imán en el motor, un contador de pulsos por vuelta. Con este contador se pueden calcular cuantas vueltas da el motor en un minuto.



**Figura 9.** Sensor hall A1101

**Tabla 8.** Especificaciones técnicas del sensor hall A1101

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	$V_{CC}$		30	V
Reverse Supply Voltage	$V_{RCC}$		-30	V
Output Off Voltage	$V_{OUT}$		30	V
Reverse Output Voltage	$V_{ROUT}$		-0.5	V
Output Current	$I_{OUTSINK}$		25	mA
Magnetic Flux Density	B		Unlimited	G
Operating Ambient Temperature	$T_A$	Range E	-40 to 85	°C
		Range L	-40 to 150	°C
Maximum Junction Temperature	$T_{J(max)}$		165	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$		-65 to 170	°C

En este caso, más que por las especificaciones técnicas de los componentes, se elegirá en base a su funcionalidad. El sensor inductivo necesita ser construido, mientras que el sensor hall ya puede ser utilizado directamente, y la conversión de pulsos a revoluciones por minutos es bastante simple. Por tanto la mejor opción es el sensor hall.

El **sensor** de RPM **elegido** es:

*Sensor hall A1101*

### 5.1.5. Velocidad

Los sensores más usados en la automoción son los sensores denominados VSS (Vehicle Speed Sensor). Con este tipos de sensores ocurre lo mismo que con los sensores de RPM, que los modelos existentes son sensores creados y adaptados por las propias marcas de los vehículos, por lo tanto hay que recurrir a otras alternativas.

La mejor opción, como en el caso anterior, es recurrir a un sensor hall que envíe pulsos cuando detecte campos magnéticos. En este caso se colocarán 4 imanes para que el sensor envíe 4 pulsos por vuelta y así tener un cálculo más preciso.

Por lo tanto se escogerá el sensor hall A1101 de la figura 9.

El **sensor** de velocidad **elegido** es:

*Sensor hall A1101*

## 5.2. Filtrado y acondicionado

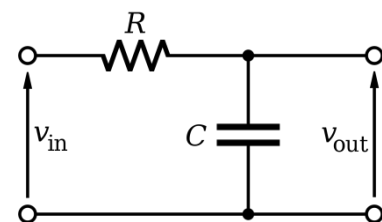
### 5.2.1. Filtrado

En este prototipo electrónico hay que usar filtros pasa-bajos para evitar ruidos o interferencias indeseadas en la señal. Dentro de los filtros pasa-bajos existe la posibilidad de crear celdas activas o pasivas.

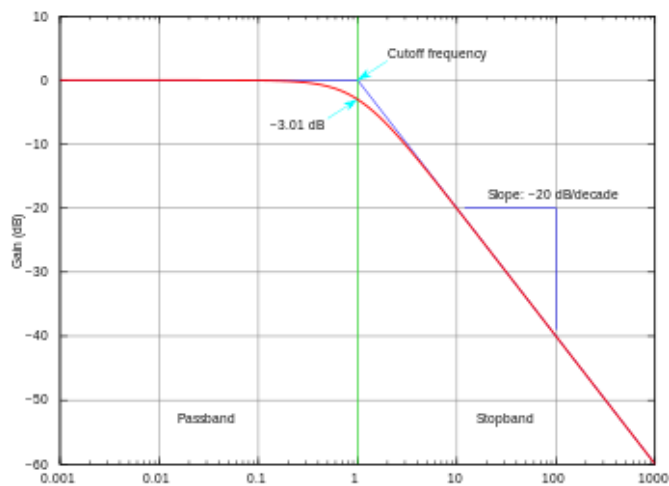
#### Filtro pasivo de primer orden

Este tipo de filtro solo usa resistencias, condensadores y bobinas.

La ventaja de este tipo de filtros es que son muy sencillos de realizar y baratos. En contrapartida, estos filtros, al ser de primer orden, las frecuencias de corte no son muy precisas ya que tienen pendiente.



**Figura 10.** Filtros pasivo pasa-bajos

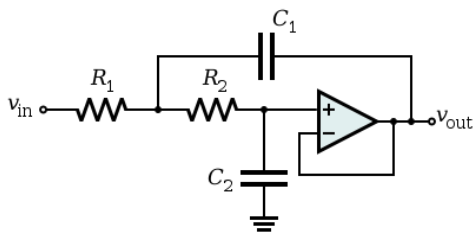


**Figura 11.** Pendiente del filtro pasivo pasa-bajos

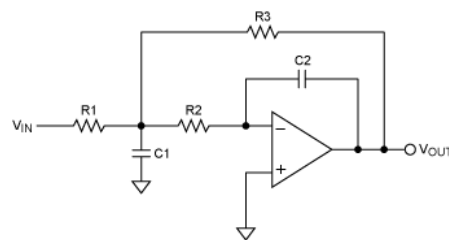
### Filtros activos de segundo orden o más

Estos filtros son más complejos ya que disponen de un amplificador operacional con ganancia y pueden ser de orden "n".

Las topologías más usadas son de Sallen-Key o Rauch.

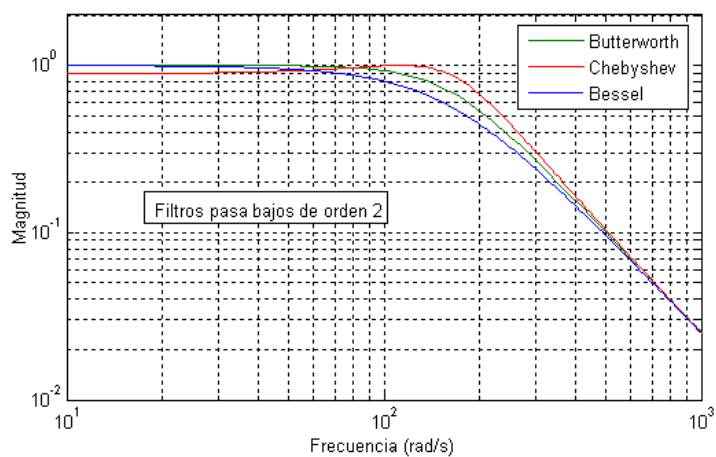


**Figura 12.** Topología Sallen-Key de 2º orden



**Figura 13.** Topología Rauch de 2º orden

Polinomios de resolución más utilizados:



**Figura 14.** Filtros con diferentes polinomios



Efectivamente los filtros activos son más versátiles, ya que pueden añadir ganancias y mediante mayores ordenes se pueden conseguir unas pendiente de frecuencia de corte más ideales. No obstante, ya que esto es un prototipo electrónico se utilizarán filtros pasivos de primer orden, con una frecuencia de corte 5 veces superior como margen. De este modo se puede compensar la pendiente del filtro de primer orden.

El **filtro elegido** es:

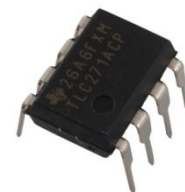
*Filtros pasivo pasa-bajos de primer orden.*

## 5.2.2. Acondicionado

El prototipo electrónico a diseñar tiene 5 sensores. Dos de ellos son digitales y necesitan un comparador, y el sensor de CO<sub>2</sub> necesita un amplificador operacional para maximizar el rango de trabajo.

Por lo tanto es necesario elegir 3 amplificadores operacionales, de los cuales dos trabajarán como comparadores.

Ya que los amplificadores operacionales ideales tienen una impedancia interna infinita, se ha elegido un amplificador con una impedancia interna muy elevada de  $10^{12} \Omega$ .



**Figura 15.** A.O. TLC271

**Tabla 9.** Especificaciones técnicas del A.O. TLC271

Supply voltage, $V_{DD}$	18 V
Differential input voltage, $V_{ID}$	$\pm V_{DD}$
Input voltage range, $V_I$ (any input)	-0.3 V to $V_{DD}$
Input current, $I_I$	$\pm 5$ mA
Output current, $I_O$	$\pm 30$ mA
Duration of short-circuit current at (or below) 25°C (see Note 3)	Unlimited
Continuous total dissipation	See Dissipation Rating Table
Operating free-air temperature, $T_A$ : C suffix	0°C to 70°C

El **amplificador elegido** para la etapa de acondicionado es:

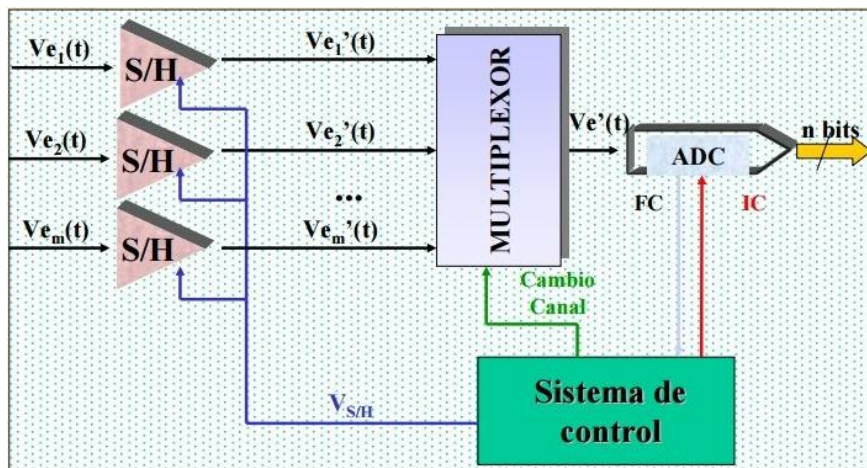
*Amplificador operacional TLC271.*

### 5.3. Convertidor analógico-digital

El prototipo electrónico a diseñar tiene que tomar datos de 5 sensores los cuales 3 son analógicos y tienen que pasar por un convertidor analógico-digital. Anteriormente se mencionaron las dos posibles opciones para su diseño.

#### Convertidor analógico-digital externo

En este caso al ser 3 entradas analógicas estaría la opción de usar 3 convertidores analógicos-digitales para cada una de las entradas o un único convertidor analógico-digital junto a un multiplexor, para las 3 entradas analógicas. Con este último se ganaría espacio en el diseño y resultaría más económico.



**Figura 16.** Convertidor analógico-digital multicanal con muestreo simultáneo

#### Convertidor analógico-digital integrado en el micro-controlador

Con esta opción solo se necesita disponer de un microcontrolador que disponga de un convertidor-analógico digital integrado con una resolución suficiente. De este modo se evita sobrecargar el diseño electrónico del prototipo simplificando las conexiones y espacio.

A continuación se muestra un ejemplo de micro-controlador con convertidor analógico-digital integrado:



**Figura 17.** PIC16F877A

**Tabla 10.** Especificaciones técnicas del PIC16F877A

<input checked="" type="checkbox"/> Convertidores Analógico-Digital	8 x 10 bits
<input type="checkbox"/> Number of USART Channels	1
<input checked="" type="checkbox"/> Número de Unidades ADC	1
<input type="checkbox"/> Número de Canales I2C	1
<input type="checkbox"/> Número de Temporizadores	3
<input type="checkbox"/> Altura	4.06mm
<input type="checkbox"/> Temperatura Máxima de Funcionamiento	85 °C
<input checked="" type="checkbox"/> Resolución de Convertidor Analógico-Digital	10bit

El **convertidor** analógico-digital **elegido** es:

*Interno, integrado con el microcontrolador.*

## 5.4. Microcontrolador

El microcontrolador es el integrado más importante de todo el diseño y tiene que ser capaz de realizar todas las operaciones necesarias sin quedarse sin recursos, por lo tanto hay que elegir uno que disponga de los puertos, memoria y periféricos necesarios para realizar todas las tareas.

Hoy en día los microcontroladores más usados en prototipos electrónicos suelen ser de las compañías Microchip o Atmel. Puesto que actualmente la compañía Microchip dispone de una amplia gama de microcontroladores y existe mucha información al respecto, se elegirá un microcontrolador de esta compañía.

Los microcontroladores Microchip se dividen en muchas familias dependiendo del ancho de bus deseado. Existen tres anchos de bus disponibles, 8,16 y 32 bits.

Ejemplo de microcontroladores de 8 vs 32 bits más utilizados internacionalmente:



**Figura 18.** PIC18F4550



**Figura 19.** PIC32MX795F

**Tabla 11.** Especificaciones técnicas del PIC18F4550

<input type="checkbox"/>	Tipo de Encapsulado	TQFP
<input type="checkbox"/>	Tipo de Montaje	Montaje superficial
<input type="checkbox"/>	Conteo de Pines	44
<input type="checkbox"/>	Núcleo del Dispositivo	PIC
<input type="checkbox"/>	Ancho del Bus de Datos	8bit
<input type="checkbox"/>	Tamaño de la Memoria del Programa	32 kB, 256 B
<input type="checkbox"/>	Frecuencia Máxima	48MHZ
<input type="checkbox"/>	Tamaño RAM	2048 B
<input type="checkbox"/>	Canales USB	1 x dispositivo
<input type="checkbox"/>	Número de Unidades PWM	2
<input type="checkbox"/>	Canales de Convertidor Analógico-Digital	13
<input type="checkbox"/>	Número de Canales SPI	1
<input type="checkbox"/>	Tensión de Alimentación de Funcionamiento Típica	4,2 → 5,5 V
<input type="checkbox"/>	Dimensiones	10 x 10 x 1.05mm
<input type="checkbox"/>	Temperatura Máxima de Funcionamiento	85 °C
<input type="checkbox"/>	Altura	1.05mm
<input type="checkbox"/>	Número de Canales I2C	1
<input type="checkbox"/>	Temporizadores	1 x 8 bits, 3 x 16 bits
<input type="checkbox"/>	Arquitectura del Conjunto de Instrucciones	RISC
<input type="checkbox"/>	Resolución PWM	10bit
<input type="checkbox"/>	Tipo de Memoria del Programa	Flash
<input type="checkbox"/>	Ancho	10mm
<input type="checkbox"/>	Convertidores Analógico-Digital	13 x 10 bits
<input type="checkbox"/>	Number of USART Channels	1
<input type="checkbox"/>	Resolución del Temporizador	8 bit, 16 bit
<input type="checkbox"/>	Número de Unidades ADC	1
<input type="checkbox"/>	Número de Temporizadores	4
<input type="checkbox"/>	Temperatura de Funcionamiento Mínima	-40 °C
<input type="checkbox"/>	Resolución de Convertidor Analógico-Digital	10bit
<input type="checkbox"/>	Longitud	10mm
<input type="checkbox"/>	Modulación de Ancho de Pulso	1 (10 bits) (CCP), 1 (10 bits) (ECCP)

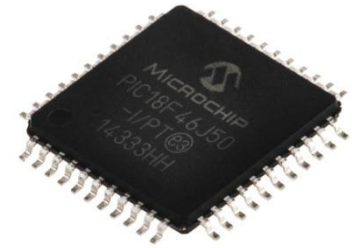
**Tabla 12.** Especificaciones técnicas del PIC32MX795F

<input type="checkbox"/>	Tipo de Encapsulado	TQFP
<input type="checkbox"/>	Tipo de Montaje	Montaje superficial
<input type="checkbox"/>	Conteo de Pines	100
<input type="checkbox"/>	Núcleo del Dispositivo	PIC
<input type="checkbox"/>	Ancho del Bus de Datos	32bit
<input type="checkbox"/>	Tamaño de la Memoria del Programa	12 kB, 512 kB
<input type="checkbox"/>	Frecuencia Máxima	80MHZ
<input type="checkbox"/>	Tamaño RAM	128 kB
<input type="checkbox"/>	Canales USB	1 x dispositivo
<input type="checkbox"/>	Número de Unidades PWM	5
<input type="checkbox"/>	Canales de Convertidor Analógico-Digital	16
<input type="checkbox"/>	Número de Canales SPI	4
<input type="checkbox"/>	Tensión de Alimentación de Funcionamiento Típica	2,3 → 3,6 V
<input type="checkbox"/>	Longitud	12mm
<input type="checkbox"/>	Modulación de Ancho de Pulso	5 (CCP)
<input type="checkbox"/>	Número de Canales UART	6
<input type="checkbox"/>	Temperatura Máxima de Funcionamiento	85 °C
<input type="checkbox"/>	Número de Canales de Ethernet	1
<input type="checkbox"/>	Altura	1.05mm
<input type="checkbox"/>	Número de Canales I2C	5
<input type="checkbox"/>	Dimensiones	12 x 12 x 1.05mm
<input type="checkbox"/>	Temporizadores	5 x 16 bits
<input type="checkbox"/>	Resolución del Temporizador	16bit
<input type="checkbox"/>	Resolución de Convertidor Analógico-Digital	10bit
<input type="checkbox"/>	Número de Temporizadores	5
<input type="checkbox"/>	Número de Unidades ADC	1
<input type="checkbox"/>	Convertidores Analógico-Digital	16 x 10 bits
<input type="checkbox"/>	Ancho	12mm
<input type="checkbox"/>	Tipo de Memoria del Programa	Flash
<input type="checkbox"/>	Arquitectura del Conjunto de Instrucciones	RISC
<input type="checkbox"/>	Temperatura de Funcionamiento Mínima	-40 °C

A simple vista se puede observar que el PIC32MX795F es mucho más potente que el PIC18F4550 y que lo supera en prácticamente todos los aspectos. No obstante, para el prototipo electrónico a diseñar, no es necesario de un microcontrolador tan potente.

Así pues, con un microcontrolador de 8 bits ya es suficiente para que el prototipo funcione siempre y cuando cumpla los requisitos necesarios.

Aunque dentro de los microcontroladores de 8 bits más potentes, el PIC18F4550 sea el más usado internacionalmente, se va a presentar el PIC18F46J50. Es otro microcontrolador de 8 bits pero con mejores características y más moderno, además consume menos energía que su predecesor.



**Figura 20.** PIC18F46J50

**Tabla 13.** Especificaciones técnicas del PIC18F46J50

<input type="checkbox"/> Tipo de Encapsulado	TQFP
<input type="checkbox"/> Tipo de Montaje	Montaje superficial
<input type="checkbox"/> Conteo de Pines	44
<input type="checkbox"/> Núcleo del Dispositivo	PIC
<input type="checkbox"/> Ancho del Bus de Datos	8bit
<input type="checkbox"/> Tamaño de la Memoria del Programa	64 kB
<input type="checkbox"/> Frecuencia Máxima	48MHZ
<input type="checkbox"/> Tamaño RAM	3776 B
<input type="checkbox"/> Canales USB	1 x dispositivo
<input type="checkbox"/> Número de Unidades PWM	2
<input type="checkbox"/> Canales de Convertidor Analógico-Digital	13
<input type="checkbox"/> Número de Canales SPI	2
<input type="checkbox"/> Tensión de Alimentación de Funcionamiento Típica	2,15 → 3,6 V
<input type="checkbox"/> Número de Canales I2C	2
<input type="checkbox"/> Número de Unidades ADC	1
<input type="checkbox"/> Arquitectura del Conjunto de Instrucciones	RISC
<input type="checkbox"/> Resolución PWM	16bit
<input type="checkbox"/> Tipo de Memoria del Programa	Flash

<input type="checkbox"/> Ancho	10mm
<input type="checkbox"/> Convertidores Analógico-Digital	13 x 10 bits
<input type="checkbox"/> Altura	1.05mm
<input type="checkbox"/> Temperatura Máxima de Funcionamiento	+85 °C
<input type="checkbox"/> Number of USART Channels	2
<input type="checkbox"/> Temporizadores	2 x 8 bits, 3 x 16 bits
<input type="checkbox"/> Resolución del Temporizador	8 bit, 16 bit
<input type="checkbox"/> Resolución de Convertidor Analógico-Digital	10bit
<input type="checkbox"/> Número de Temporizadores	5
<input type="checkbox"/> Modulación de Ancho de Pulso	2 (16 bits) (ECCP)
<input type="checkbox"/> Longitud	10mm
<input type="checkbox"/> Dimensiones	10 x 10 x 1.05mm
<input type="checkbox"/> Temperatura de Funcionamiento Mínima	-40 °C

El **microcontrolador** elegido es:

*PIC18F46J50.*

## 5.5. Memoria externa

Para elegir una memoria externa solo es necesario tener en cuenta el tamaño de datos a guardar y el espacio que esta pueda ocupar en el diseño.

### Memorias FLASH

Actualmente, suelen ser en formato USB o SD.



**Figura 21.** Memoria FLASH SD



**Figura 22.** Memoria FLASH USB

Estos tipos de memoria tienen una capacidad de almacenaje muy superior a las memorias EEPROM convencionales, pero puede ser un problema de espacio para el diseño del prototipo electrónico, ya que ocupan mucho más espacio que las memorias EEPROM, que son simples integrados de 8 pines.

### Memorias EEPROM

Existen varios modelos de memoria que van desde 128 bits a 1Mbits. También existen memorias de bus I2C o SPI.

#### SPI

Características principales de la EEPROM 25LC256 de bus SPI:

- Max. Reloj 10 MHz
- Tecnología CMOS de baja potencia
- Max. corriente de escritura: 5 mA a 5,5 V, 10 MHz
- corriente de lectura: 6 mA a 5,5 V, 10 MHz
- Corriente espera: 1  $\mu$ A en 5.5 V
- 32.768 x 8 bits
- 64-Byte (página)
- Protección de escritura
- Protección de un 1/4, 1/2 o la totalidad de la matriz
- Circuitos de protección de datos
- Pin de protección contra escritura
- lectura secuencial
- Alta fiabilidad
- Resistencia: 1.000.000 ciclos de borrado / escritura
- La retención de datos:> 200 años
- Protección ESD:> 4000 V



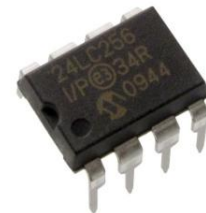
**Figura 23.** Memoria EEPROM 25LC256



## I2C

Características principales de la EEPROM 24LC256 de bus I2C:

- Alimentación única a 2,5 V
- Tecnología CMOS de baja potencia
- Corriente de lectura: 400 uA máx. a 5.5V, 400 kHz
- Corriente de espera: 1 uA máx. a 3,6 V, I-temp
- 2 cables de interfaz serie, I2C™ compatible
- Hasta 8 dispositivos en cascada
- Disparador Schmitt para supresión de ruido
- Control de la salida para eliminar rebotes
- Compatibilidad del reloj, 100 kHz y 400 kHz
- Tiempo de escritura de una página, 5 ms máx.
- 64-Byte (página)
- Hardware de protección contra escritura
- ESD Protección > 4000 V
- Resistencia: 1.000.000 ciclos de borrado / escritura
- Retención de datos > 200 años
- Ejemplos de programación disponibles
- Los paquetes incluyen 8-lead PDIP, SOIC, SOIJ, DFN
- Cumple RoHS



**Figura 24.** Memoria EEPROM 24LC256

Más o menos las características de ambas EEPROM son parecidas, lo único en lo que difieren un poco más, es en el reloj y el protocolo de bus utilizado.

Para el prototipo electrónico a diseñar, una memoria EEPROM es la mejor opción. Y puesto que el bus I2C está más extendido, se escogerá una EEPROM I2C. Con una memoria de 256 kbits será suficiente para el tamaño de almacenamiento.

La **memoria** externa **elegida** es:

**24LC256.**

## 5.6. Comunicación

Para mayor versatilidad, el prototipo electrónico dispondrá de tanto comunicación RS232 como USB. En un principio estará preparado para una comunicación puerto serie mediante un conector RS232 de 9 pines el cual, se le podrá añadir un adaptador RS232-USB, ya que hoy en día, la mayoría de dispositivos disponen de conexión USB.



**Figura 25.** Conector 9 pines RS232



**Figura 26.** Adaptador RS232 a USB

La conexión directa USB-USB estará presente en el diseño mediante un conector USB hembra tipo A, pero no programada para su uso por el momento. Es más una función de mejora a añadir en el futuro.



**Figura 27.** Conector USB hembra tipo A

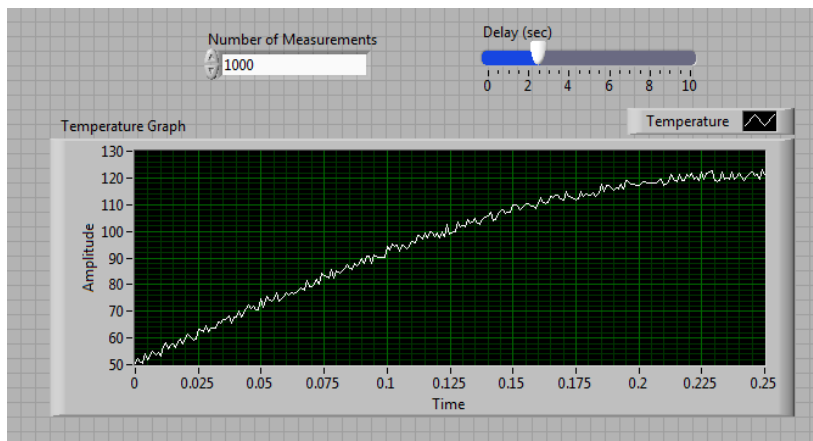
De esta forma se abarcarán todo tipo de maquinas para que no haya problemas de comunicación con el prototipo diseñado.

La **comunicación elegida** es:

*RS232 con adaptador USB.*

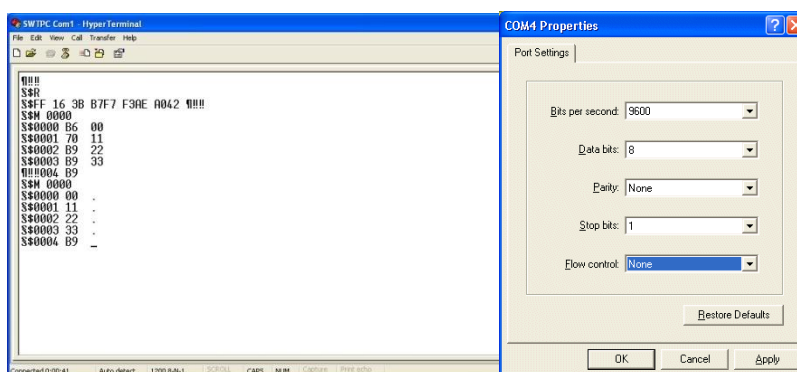
## 5.7. Software externo

En cuanto al software externo a utilizar, si se comparan las características de todos los software mencionados en el apartado anterior, se ve claramente que "Labview" supera con creces a todos los demás ya que es un software mucho más potente y versátil que dispone de muchas herramientas interesantes y funcionales.



**Figura 28.** Gráfico de temperatura mediante datos leídos por Labview

No obstante, para la realización de este prototipo se elegirá como software de comunicación "HyperTerminal", que aunque no disponga de las potentes herramientas de "Labview", cumple el requisito principal de poder visualizar los datos almacenados en el prototipo electrónico y su manejo y configuración es mucho más simple.



**Figura 29.** Software HyperTerminal

La **software** externo **elegido** es:

*HyperTerminal.*

## Capítulo 6

# Hardware

En este apartado se describe el diseño realizado en el proyecto y se justifican tanto los componentes empleados como sus respectivos valores.

Para ello se puede dividir el diseño en distintos sub-circuitos:

- Etapa de potencia.
- Acondicionamiento y tratamiento de señales de entrada.
- Configuración del microcontrolador.
- Acondicionamiento y tratamiento de señales de salida.
- Almacenamiento y transmisión de datos.

### 6.1. Etapa de potencia

En la imagen que viene a continuación se puede observar el esquema de toda la etapa de potencia empleada en el proyecto.

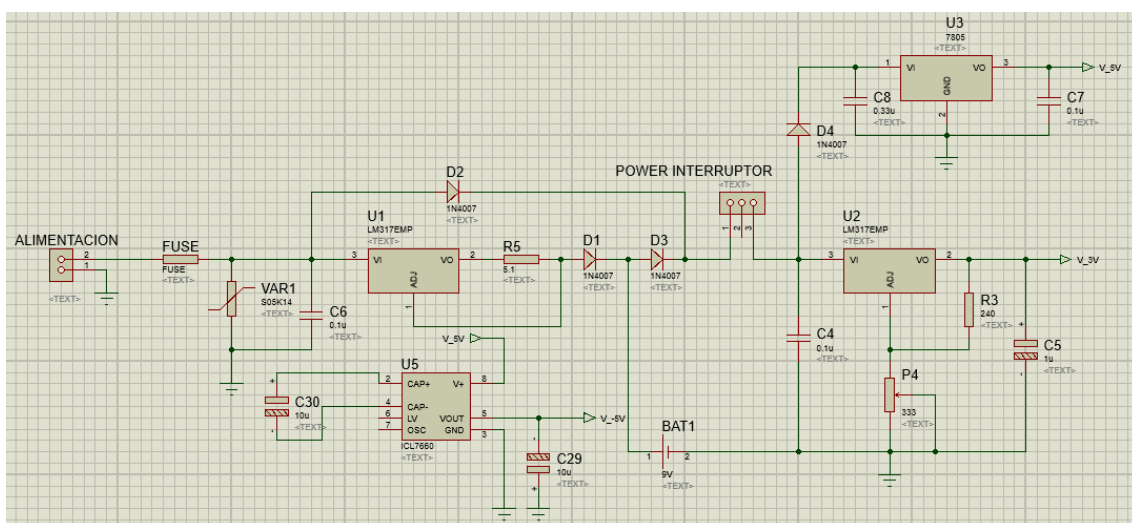


Figura 30. Esquema etapa de potencia

El objetivo de la etapa de potencia que se ha diseñado, es poder cumplir con todas las necesidades del proyecto a realizar. Dichas necesidades son las siguientes:

- Voltaje de salida a 3V, para el microcontrolador.
- Voltaje de salida a 5V, para los integrados.
- Voltaje de salida a -5V, para los comparadores.
- Carga de batería a 245 mA/h.

En el conector de alimentación se le aplicarán 12V, que corresponde al voltaje que proporciona una batería de un vehículo.

Se utiliza el integrado LM317 para funcionar tanto como regulador de corriente como de tensión. En el datasheet se indica las diferentes configuraciones necesarias para el uso que quiera darse. También se utiliza el regulador de tensión LM7805 que proporciona los 5V de voltaje de salida y el integrado ICL7660 que convierte la señal de 5V en -5V.

A continuación se justifican los elementos utilizados en esta etapa:

1. **Alimentación:** Entada de 12 V, proveniente de la batería.
2. **Interruptor:** Su función es activar o desactivar el dispositivo.
3. **Fusible:** Su valor es de 2,5 A, ya que es la corriente máxima que podría proporcionar la suma del regulador LM317 y el LM7805.

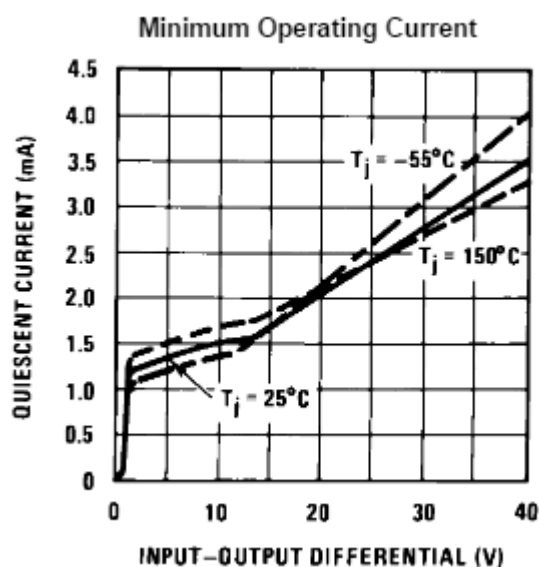


Figura 31. Gráfico funcionamiento LM317

La diferencia de voltaje Input-Output que tiene el circuito del LM317 es de 9V, por tanto a partir del datasheet se puede afirmar que la corriente será de 1,5 A. En el caso del LM7805 el datasheet indica que para 9V de entrada, que sería en caso de la desconexión de la batería del vehículo y funcionara con la pila, se obtendría 500 mA de corriente. Al sumarse tanto la corriente del LM317 para la

regulación a 3 V mas la de la pila que son 245 mA, mas la del regulador LM7805, daría un total de 2,245 A. Por ello se ajustará a 2,5 A.

4. **Varistor:** El varistor empleado puede soportar hasta 12V, su función es evitar ruidos externos o diferenciales, que superen dicho valor.
5. **C4, C5, C8:** Se utilizan para fijar la tensión en caso de que esta tenga alguna perturbación. Los valores utilizados son los que recomienda el datasheet.
6. **C6, C7:** Se utilizan para evitar transitorios internos y así estabilizar el voltaje de salida en caso de que hubiera alguna variación a la hora de conectar la carga. Los valores utilizados son los que recomienda el datasheet.
7. **R5:** Se utilizan para fijar la corriente de salida con el fin de cargar la batería. La batería debe ser cargada a un 10% de su capacidad es decir a 245mA/h. El datasheet indica lo siguiente:

$$I_{out} = \frac{V_{ref}}{R}$$

Siendo  $V_{ref} = 1.25V$  obtenemos que  $R = 5.1$  ohms.

8. **R3, P4:** Se utilizan, como especifica su datasheet, para fijar el valor al cual se quiere obtener en la salida del regulador.
9. **D1, D2, D3, D4:** Los cuatro son diodos rectificadores, cuya función es indicar por donde debe circular la corriente del circuito.
10. **C29, C30:** Tal y como indica el datasheet dichos condensadores deben de ser electrolíticos y de 10uF para poder funcionar correctamente, cuya tarea es realizar medios ciclos de carga y descarga para obtener los -5V en la salida.
11. **Bateria1:** Batería de carga a 245mA/h. Se utiliza para suministrar energía al circuito en caso de estar desconectada la batería del vehículo.

**12. Disipadores de calor:** Los elementos que tienden a calentarse más son aquellos que disipan más potencia, en este caso particular se trataría de los reguladores de tensión y corriente.

Para ello se realiza el siguiente estudio para elegir los disipadores de calor que cumplan con las necesidades requeridas.

$$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{j\_max} = 150^{\circ}\text{C}.$$

$$P_{7805} = (V-5) \cdot I = (12-5) \cdot 0.6 = 4,2 \text{ W}.$$

$$P_{317} = (V-3) \cdot I = (12-3) \cdot 0.6 = 5,4 \text{ W}.$$

$$R_{th\_j-c} = 3^{\circ}\text{C/W}.$$

$$R_{th\_c-d} = 1^{\circ}\text{C/W}.$$

$$R_{thd\_a} = \frac{T_{j\_max} - T_{amb}}{P} - (R_{th\_jc} - R_{th\_cd})$$

Sustituyendo valores se obtiene que:

$$R_{thd\_a}(P_{7805}) = 27.76^{\circ}\text{C/W}.$$

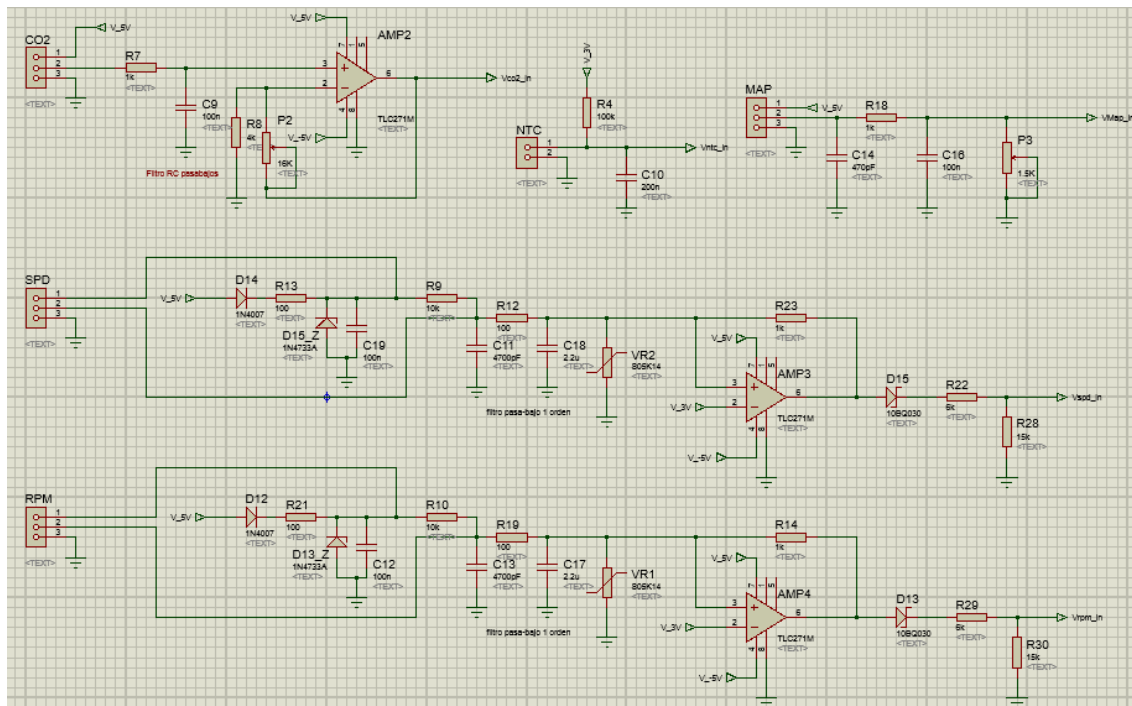
$$R_{thd\_a}(P_{317}) = 21.15^{\circ}\text{C/W}.$$

Para poder cumplir esta condición se utilizará un disipador con un  $R_{thd\_a} \leq 21.15^{\circ}\text{C/W}$ .

## 6.2. Acondicionamiento de las señales de entrada

El objetivo de esta etapa es acondicionar las señales para que estas puedan ser procesadas correctamente por el microcontrolador.

A continuación se muestra el esquema del diseño realizado para dicha etapa.



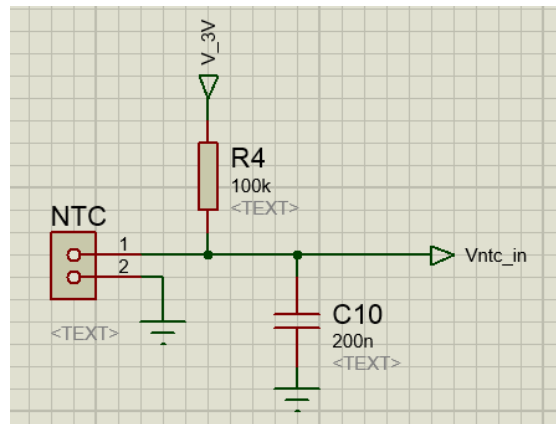
**Figura 32.** Esquema etapa de acondicionamiento de las señales de entrada

Para realizar un análisis más profundo y detallado se puede dividir esta etapa en 5 sub-apartados, los cuales corresponden a las 5 señales que tiene que medir el dispositivo.

### 6.2.1. Acondicionamiento de la señal del sensor NTC

Primero de todo se observara el sub-circuito realizado para tratar dicha señal.





**Figura 33.** Esquema de acondicionado de la señal del sensor NTC

Al ser un sensor NTC de 100 k $\Omega$ , se le aplica un divisor de tensión con R4 del mismo valor para regular el voltaje de salida. Dicho voltaje será inversamente proporcional al aumento de resistencia del sensor. La señal proveniente del sensor trabaja a 8 Hz, por tanto se debe aplicar un filtro pasa-bajos con 8 Hz de frecuencia de corte, para ello usaremos un condensador cerámico de 200 nF.

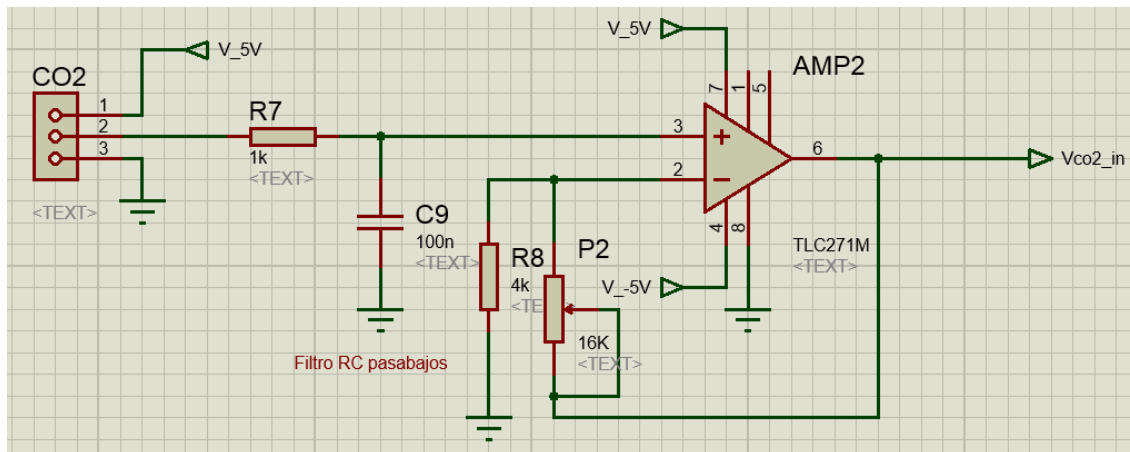
La fórmula para diseñar un filtro es la siguiente:

$$f = \frac{1}{2 * \pi * R * C}$$

Se fija un valor para la resistencia y se determina el valor del condensador.

### 6.2.2. Acondicionamiento de la señal del sensor de CO2

En la siguiente imagen se puede observar el sub-circuito realizado para tratar dicha señal.



**Figura 34.** Esquema acondicionamiento de la señal del sensor de CO2

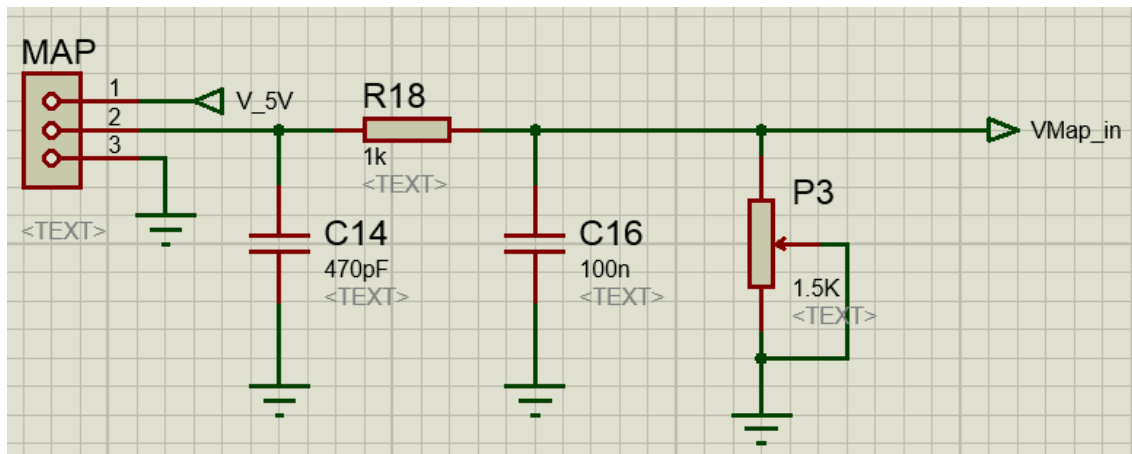
Mediante un conector se alimenta el sensor a 5 V y se obtiene su señal. Como este trabaja como máximo a una frecuencia de 1,5 kHz, se le aplicará un filtro pasa-bajos pasivo de primer orden con el fin de eliminar cualquier ruido o interferencia proveniente de frecuencias superiores.

Para el diseño del filtro, se ha fijado un valor de resistencia de 1 k $\Omega$ , obteniendo así una impedancia de 100 nF.

Se realiza una amplificación de la señal para que esta pueda ser interpretada y procesada correctamente por el microcontrolador. Con dichos valores de resistencia se obtiene una ganancia de 5.

### 6.2.3. Acondicionamiento de la señal del sensor MAP

A continuación se puede observar una imagen del esquema realizado para tratar la señal del sensor MAP.



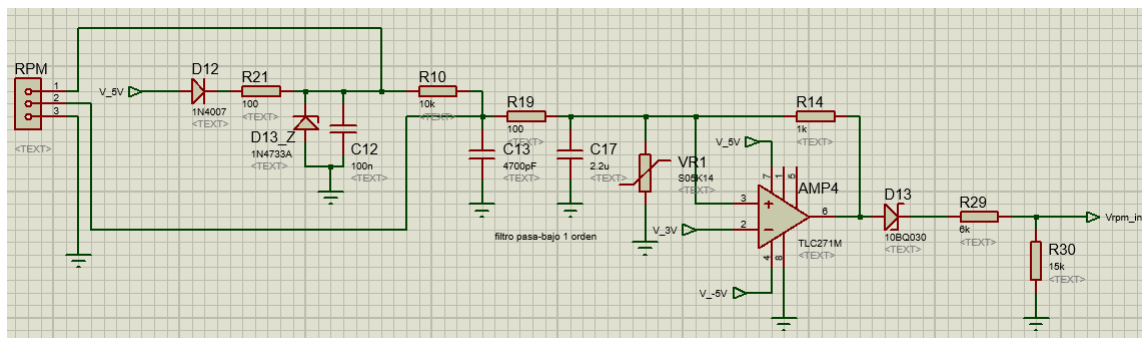
**Figura 35.** Esquema de acondicionamiento de la señal del sensor MAP

Mediante un conector se alimenta el sensor a 5 V y se obtiene su señal. Seguidamente en la salida se le aplicará en paralelo un condensador cerámico de 470 pF, por recomendación del datasheet del sensor. Como el sensor trabaja como máximo a una frecuencia de 1,5 kHz, se le aplicará un filtro pasa-bajos pasivo de primer orden con el fin de eliminar cualquier ruido o interferencia proveniente de frecuencias superiores. Para el diseño del filtro, se ha fijado un valor de resistencia de 1 k $\Omega$ , obteniendo así una impedancia de 100 nF.

Se realiza una atenuación de la señal con un divisor de tensión de 5 V a 3 V para que esta pueda ser interpretada y procesada correctamente por el microcontrolador.

#### 6.2.4. Acondicionamiento de la señal del sensor RPM y SPD

A continuación se puede observar una imagen del esquema del sensor RPM que es idéntica a la del SPD, ya que utilizan el mismo acondicionamiento de la señal. Solo se diferencian en el software a la hora de ser interpretadas sus respectivas señales.



**Figura 36.** Esquema de tratamiento de la señal del sensor RPM y SPD

Tanto la señal proveniente del sensor RPM como del SPD, ambos son sensores de efecto hall, los cuales trabajan por pulsos.

Primero de todo para alimentar al sensor este debe de pasar por una etapa de acondicionado formada por una serie de componentes que propone el propio datasheet. Dichos componentes son los siguientes: D12, D13\_Z, C12, C13, R21, R10.

Seguidamente se describe como se determina el rango de trabajo tanto del sensor RPM como del SPD.

En el caso del de RPM se sabe que el sensor genera 1 pulso por RPM.

- 1 rpm = 0,01666667 Hz.

Suponiendo que el motor como máximo puede ir a 8000 RPM.

- Es decir la frecuencia máxima de trabajo será de 133,33 Hz.
- Si se multiplica dicha frecuencia por 5 para asegurar que la señal no se deforme, esto daría una frecuencia de 666,66Hz.
- Si se fija una resistencia de 1 kΩ se obtiene una impedancia de 238,73 nF.
- Como en el mercado no se ha encontrado condensadores con dicho valor se ajusta más a un valor comercial como 220 nF, fijando de este modo una frecuencia de corte de 723,43 Hz.

Y por tanto la función de transferencia de dicho filtro sería:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{RCs + 1}$$
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{0.22 * 10^{-3}s + 1}$$

En el caso del sensor SPD, se determinará la frecuencia de trabajo del siguiente modo:

- 4 pulsos por rpm.
- Diámetro de la rueda del vehículo 621,5 mm.
- Radio = 310,75\*10<sup>-3</sup> m.
- L = 1,952 m.
- El vehículo alcanza los 255 km/h -> 4250m/min.
- RPM = (4250/1,952) = 2177,25 rpm.
- El rango será de 0 - 2177,25 rpm.
- 1rpm -> 0,0166666 Hz.

- 1 pulso -> 0,0041666 Hz.
- 2177,25 rpm -> 36,2875 Hz.

Entonces el rango de pulsos que habrá será de 0 - 8709 pulsos por minuto.

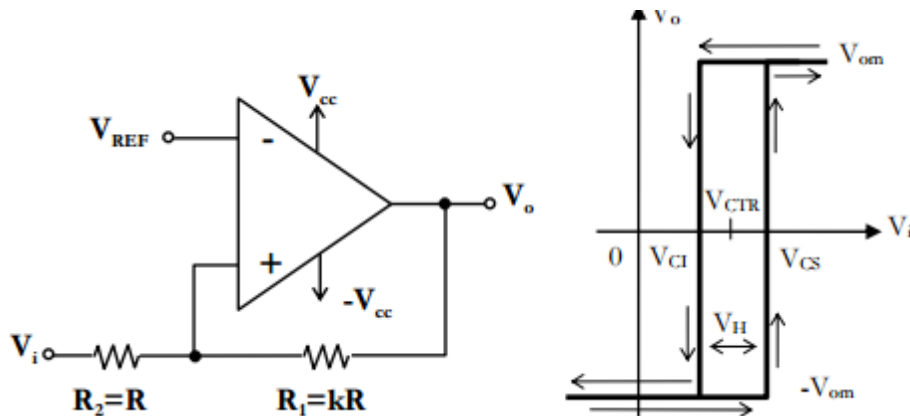
Por tanto la frecuencia máxima será 145,15 Hz.

Para asegurar el correcto funcionamiento se diseña un filtro con una frecuencia de corte 5 veces mayor a la de trabajo del sensor. En caso de no utilizarlo se observaría como la señal cuadrada se deforma.

Por tanto la nueva frecuencia de corte será de 725,75 Hz, que prácticamente es la misma que la del sensor de RPM y por tanto coincidirán los mismos valores de R y C para diseñar el filtro.

Seguidamente, al ser una señal digital, se utiliza un varistor de 5 V, para evitar ruidos externos o diferenciales que pudiesen afectar a dicha etapa.

A continuación se le aplicará a la señal un comparador con histéresis con voltaje de referencia. Dicho comparador asegurará un nivel de  $\pm 5$  V, según el voltaje de entrada que le llegue.



**Figura 37.** Comparador con histéresis con voltaje de referencia

$$V_{CI} = -V_{om} \frac{R_2}{R_1} + V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = -\frac{V_{om}}{k} + V_{REF} \left( 1 + \frac{1}{k} \right)$$

$$V_{CS} = V_{om} \frac{R_2}{R_1} + V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = \frac{V_{om}}{k} + V_{REF} \left( 1 + \frac{1}{k} \right)$$

$$V_H = V_{CS} - V_{CI} = \frac{2V_{om}}{k}$$

$$V_{CTR} = \frac{V_{CS} + V_{CI}}{2} = V_{REF} \left( 1 + \frac{1}{k} \right)$$

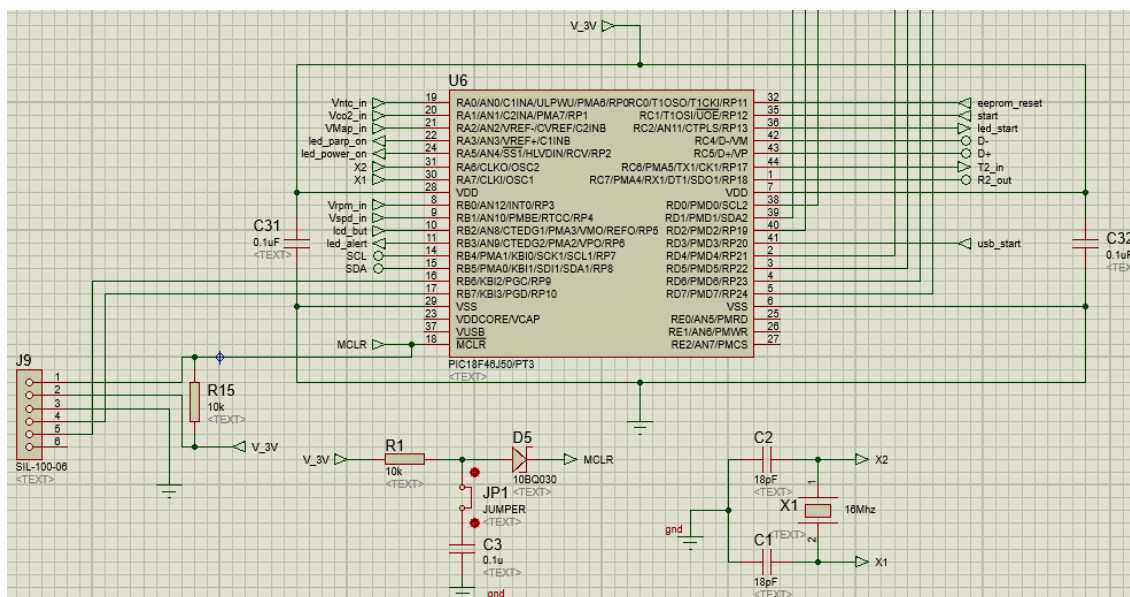
De este modo se obtiene una tensión lendar alta de 3,8 V y una tensión lendar baja de 2,2 V.

Seguidamente se le aplicará un diodo schottky para eliminar la parte negativa de la señal obteniendo de este modo una señal cuadra de 0 - 5 V. Se decide que el diodo sea Schottky y no rectificador debido a su velocidad de conmutación.

Por último se le aplicará al circuito un divisor de tensión, para atenuar la señal a 3 V, para que de este modo se adapte la señal a la requerida por el microcontrolador.

### 6.3. Configuración del microcontrolador

A continuación se puede observar una imagen, donde se puede observar en detalle la configuración de un microcontrolador.



**Figura 38.** Esquema de la configuración del microcontrolador

Como casi todo dispositivo electrónico, tiene como núcleo principal un microcontrolador, el cual se encarga de interpretar y realizar las funciones lógicas y/o aritméticas necesarias para poder llevar a cabo la funcionalidad del dispositivo.

Todos los componentes utilizados en esta etapa son los que se recomiendan en el datasheet del fabricante, para su buen uso y funcionamiento.

- **J9, R15:** Se utilizan para cargar el programa al microcontrolador con el dispositivo pickit3.

- **C1, C2, X1:** Dichos elementos son necesarios para hacer oscilar el reloj que va al microcontrolador. Dicho reloj puede ser de 4 MHz, 8 MHz o 16 MHz. Para aprovechar al máximo su velocidad se decide utilizar el de 16 MHz. Los condensadores son cerámicos y su valor es de 18 pF, que es lo que indica el datasheet.
- **R1, D5, JP1, C3:** Su función es la de resetear el chip en caso de introducir el jumper. Los valores de los componentes son los que recomienda el datasheet.
- **C31, C32:** Son dos condensadores cerámicos de 0,1 uF, los cuales son incluidos en el circuito por recomendación del datasheet del microcontrolador para su buen funcionamiento.

A continuación se procederá a detallar que va conectado a los distintos pines del microcontrolador:

- **Pin 1:** Señal Rx al MAX3232.
- **Pin 2:** Salida al LCD.
- **Pin 3:** Salida al LCD.
- **Pin 4:** Salida al LCD.
- **Pin 5:** Salida al LCD.
- **Pin 6:** Gnd.
- **Pin 7:** Alimentación.
- **Pin 8:** Señal de entrada del sensor de RPM.
- **Pin 9:** Señal de entrada del sensor SPD.
- **Pin 10:** Señal de entrada del botón del LCD.
- **Pin 11:** Señal de salida del led de alerta.
- **Pin 12:** No conectado.
- **Pin 13:** No conectado.
- **Pin 14:** SCL del bus I2c.
- **Pin 15:** SDA del bus I2c.
- **Pin 16:** Señal de entrada del jumper del pickit.
- **Pin 17:** Señal de entrada del jumper del pickit.
- **Pin 18:** Señal de entrada MCLR, de reset y de carga de programa del pickit.
- **Pin 19:** Señal de entrada del sensor NTC.
- **Pin 20:** Señal de entrada del sensor MG811.
- **Pin 21:** Señal de entrada del sensor MAP.
- **Pin 22:** Señal de salida del led parpadeante.
- **Pin 23:** No conectado.

- **Pin 24:** Señal de salida del led.
- **Pin 25:** No conectado.
- **Pin 26:** No conectado.
- **Pin 27:** No conectado.
- **Pin 28:** Alimentación.
- **Pin 29:** Gnd.
- **Pin 30:** Señal de entrada de oscilador1.
- **Pin 31:** Señal de entrada de oscilador2.
- **Pin 32:** Señal de salida del reset de la eeprom.
- **Pin 33:** No conectado.
- **Pin 34:** No conectado.
- **Pin 35:** Señal de entrada del pulsador start.
- **Pin 36:** Señal de salida del led start.
- **Pin 37:** No conectado.
- **Pin 38:** Señal de salida al LCD.
- **Pin 39:** Señal de salida al LCD.
- **Pin 40:** Señal de salida al LCD.
- **Pin 41:** Señal de entrada del pulsador transmitir datos.
- **Pin 42:** Señal D- del usb.
- **Pin 43:** Señal D+ del usb.
- **Pin 44:** Señal Tx al MAX3232.

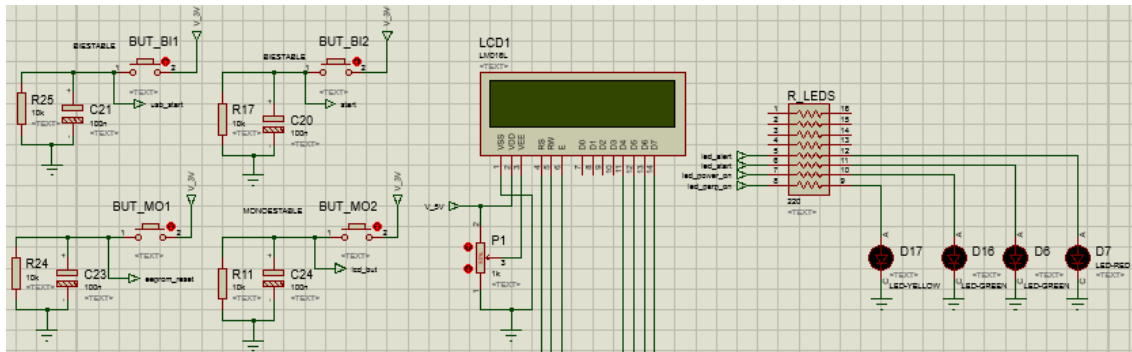
## 6.4. Acondicionamiento de las señales de salida

En este apartado se describen los componentes utilizados para realizar la visualización de datos y señales de salida del microcontrolador.

La visualización de datos se realizará mediante una pantalla LCD y LEDS, que informarán del estado de las señales con las que se trabaja.

A continuación se puede observar una imagen donde se puede ver el conexionado realizado.





**Figura 39.** Esquema del conexionado de las señales de salida

Como se puede observar en la imagen el LCD se alimenta a 3 V y se utiliza un potenciómetro para ajustar el contraste.

Se utilizan los pulsadores para las siguientes funciones:

- Encender el LCD.
- Visualizar los valores de los distintos sensores.
- Resetear la eeprom.
- Transmitir datos.

Se colocan resistencias de pull down para forzar el estado bajo cuando el pulsador está abierto. Cuando está en estado alto este se ve limitado por la corriente de la resistencia. Se ha fijado como valor de resistencia de 10 k $\Omega$ , para que la corriente que circule sea de 0,3 mA. Dicha corriente esta dentro de los márgenes que establece el datasheet del microcontrolador.

En paralelo a la resistencia se coloca un condensador electrolítico de 100 nF, para evitar el efecto de rebote mecánico.

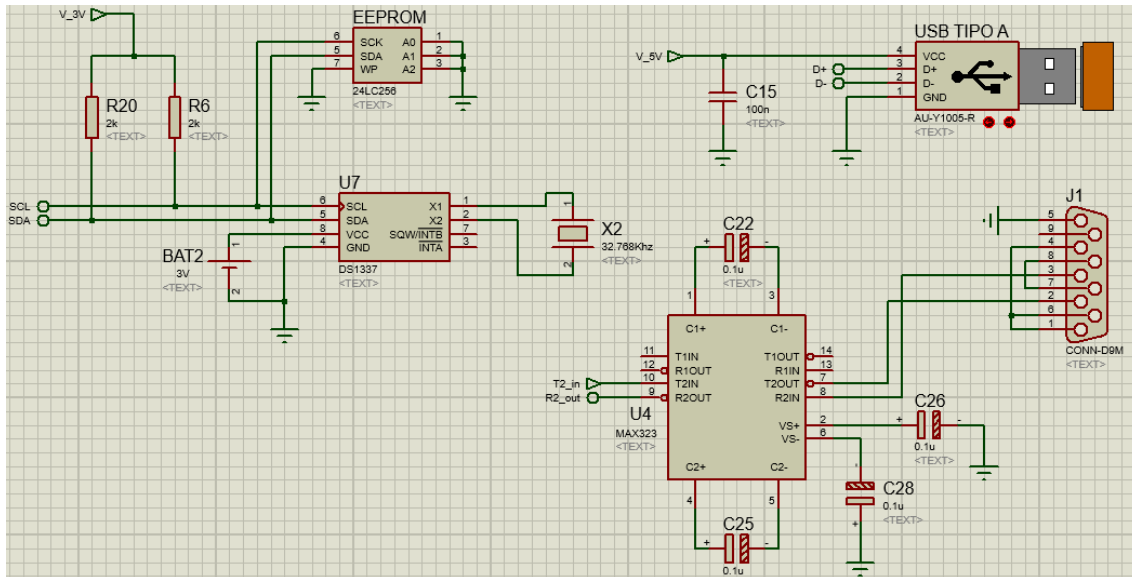
Los diodos LEDS utilizados en el circuito tienen la siguiente función:

- LED amarillo: Parpadea cuando se está realizando la transmisión de datos y cuando se está borrando la eeprom.
- LED verde 1: Se enciende cuando el dispositivo está en funcionamiento.
- LED verde 2: Parpadea cuando se están adquiriendo datos.
- LED rojo: Se enciende cuando unos de los sensores utilizados no está funcionando correctamente o sobrepasa su rango de trabajo.

Como se puede observar se utiliza un array de resistencias para reducir la corriente que pasa por dichos diodos. El array de resistencia utilizado es de 220  $\Omega$ .

## 6.5. Almacenamiento y transmisión de datos.

A continuación se puede observar el esquema realizado para poder realizar el almacenamiento y la transmisión de datos.



**Figura 40.** Esquema del conexionado de almacenamiento y transmisión de datos

Para poder realizar la transmisión de datos se utiliza el bus I2c, el cual tiene que tener 2 resistencias de pull-up debido a que las líneas SCL y SDA son de drenador abierto. El valor de las resistencias va en función a la velocidad de trasmisión. Y estos valores se recogen en el datasheet del microcontrolador.

Para enviar la señal del reloj se utiliza el integrado DS1337, el cual necesita una pila de 3 V para funcionar y un cristal de cuarzo de 32,768 kHz, según especificaciones técnicas del fabricante.

La información de los valores de los sensores como del reloj serán almacenados en la memoria eeprom.

Para poder enviar la información almacenada a un periférico se utiliza el integrado MAX3232 con conexión RS-232. El valor de los condensadores electrolíticos utilizados son los que propone el fabricante para su correcto funcionamiento. Cabe indicar que para hacer un buen uso de la transmisión de datos se tienen que invertir los pines del conector. En el diseño viene implementado un conector USB para una posible mejora en un futuro a la hora de realizar el envío de datos.

## Capítulo 7

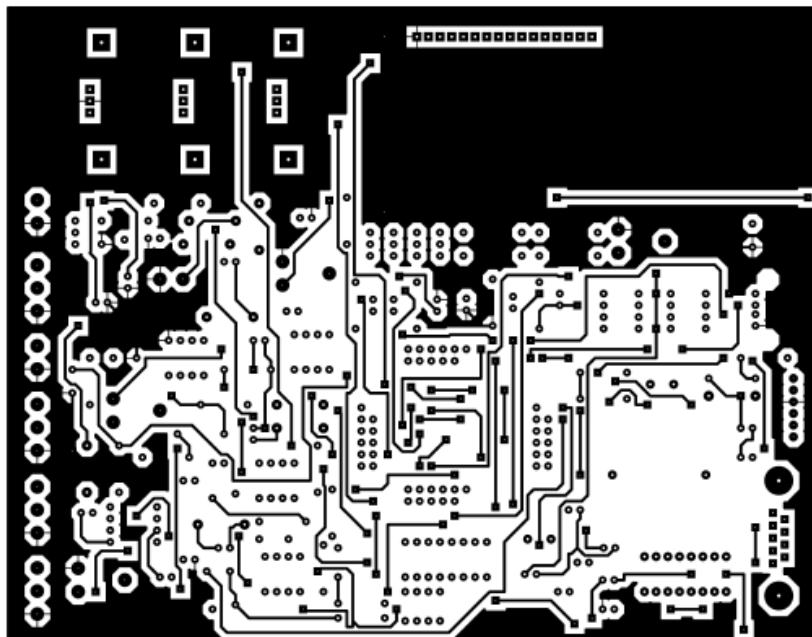
# Diseño de la placa

A la hora de realizar la placa, existen varios factores a tener en cuenta, los cuales se nombran a continuación:

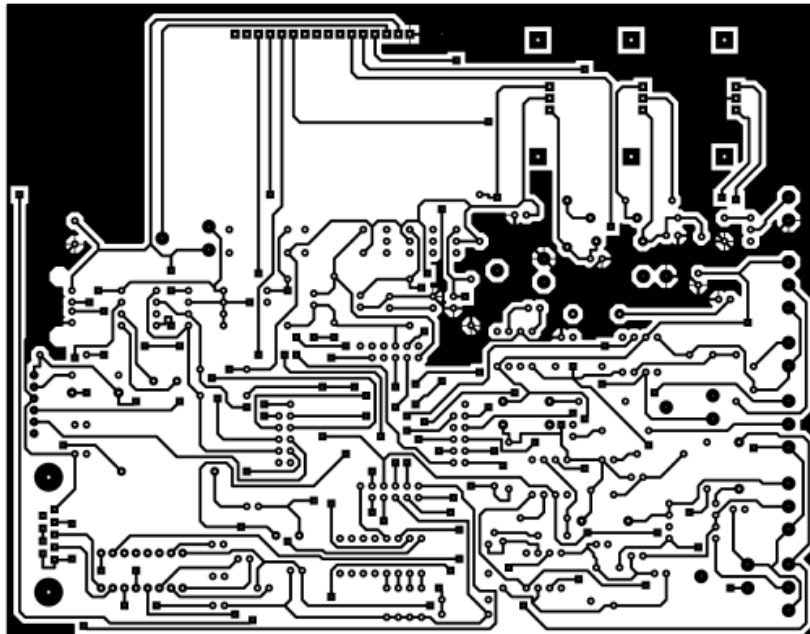
- Distribución de los componentes.
- Grosor de las pistas.
- Diámetro interno y externo de los pads.
- Caras a utilizar en el circuito impreso.
- Diámetro interno y externo de las vías.

Al ser un dispositivo el cual sigue en fase de desarrollo y por tanto no se ha llevado a la fabricación en serie, varían las características de los factores previamente nombrados.

A continuación se puede observar una imagen de la cara superior e inferior del circuito impreso.

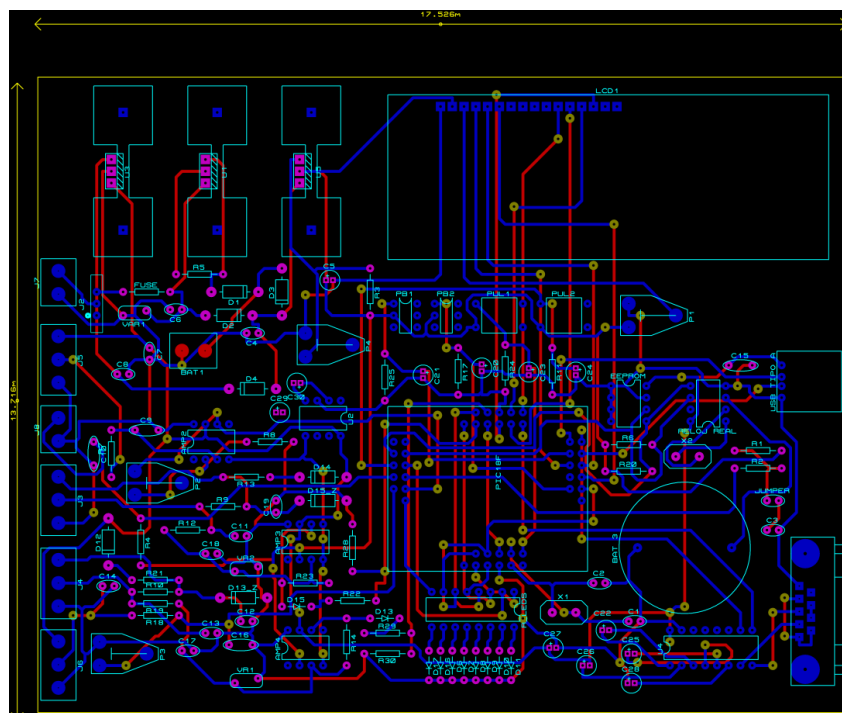


**Figura 41.** Cara superior del circuito impreso



**Figura 42.** Cara inferior del circuito impreso

Para poder realizar una explicación mejor del diseño realizado de la PCB se muestra a continuación como quedaría el layout.



**Figura 43.** Layout del diseño en PCB

A la hora de elegir la distribución de los componentes se ha seguido el siguiente criterio:

1. **Arriba a la izquierda:** Etapa de potencia.
2. **Centrado y abajo a la izquierda:** Acondicionamiento de señales de entrada.
3. **Medio:** Microcontrolador.
4. **Abajo en el medio:** LEDS.
5. **Arriba en el medio y derecha:** LCD y pulsadores.
6. **Derecha:** Conector RS-232 y USB.

Para determinar el tamaño de las pistas es imprescindible conocer la corriente que circulara por ellas, contra mas corriente mayor tendrá que ser el grosor de la pista.

En el caso del proyecto a realizar se utilizan dos amplitudes de pista, correspondientes a la etapa de alimentación, en la cual es en la que circulará más corriente, además del LCD que consume mucha corriente.

Ya que la placa se va hacer manualmente, en las pistas se podrían encontrar micro roturas, dando así fallos de funcionamiento. Es por ello que se decide utilizar un ancho de pista de 0.025 inch.

A la hora de realizar las pistas, se puede observar que hay zonas las cuales no pueden existir pistas en la cara superior de la placa, como por ejemplos los integrados, los conectores o los disipadores de calor. Esto es debido a que son elementos que solo pueden ser soldados por la cara inferior.

En el caso del dispositivo realizado se utilizan ambas caras para poder reducir el espacio de la placa.

Como se puede observar en el circuito impreso se recubre todas las zonas posibles de la placa con un plano de masa, para evitar ruidos.

A la hora de realizar vías o pads se sigue el siguiente criterio:

- Para poder realizar bien los agujeros se utiliza un diámetro interior lo suficientemente grande para evitar destruir el pad o la vía.
- Contra mas grande sea el tamaño exterior mejor será la soldadura.

## Capítulo 8

# Simulaciones

En todo proyecto ingenieril de diseño es imprescindible la realización de una serie de simulaciones con el fin de determinar su correcto funcionamiento.

Para ello se utilizarán tanto simulaciones analógicas como digitales.

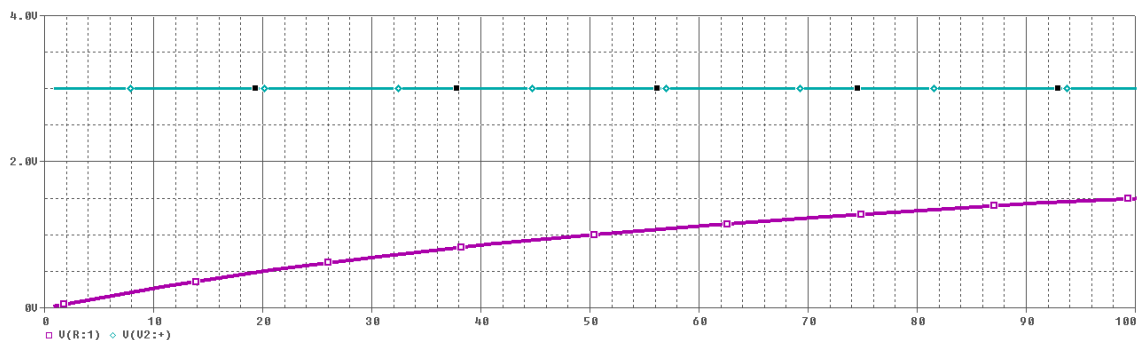
Se utilizará el programa "Orcad Pspice" y "Proteus", ya que son una buena herramienta de trabajo en la cual se pueden realizar dichas simulaciones.

Las diferentes señales a simular son las siguientes:

- Etapa de acondicionamiento de señal de los sensores
- Filtro pasa-bajos
- Etapa de potencia
- Visualización en LCD

### 8.1. Sensor NTC

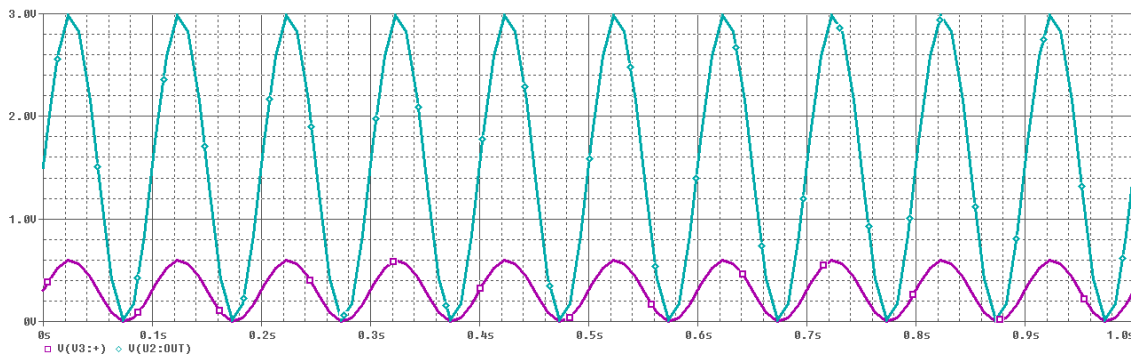
Al aplicar un voltaje de entrada de 3 V, a medida que aumenta el valor de la resistencia del sensor, también aumenta su voltaje. Una vez obtenido el voltaje de salida, se procede al tratamiento de la señal mediante software.



**Figura 44.** Simulación sensor NTC

## 8.2. Sensor de CO2

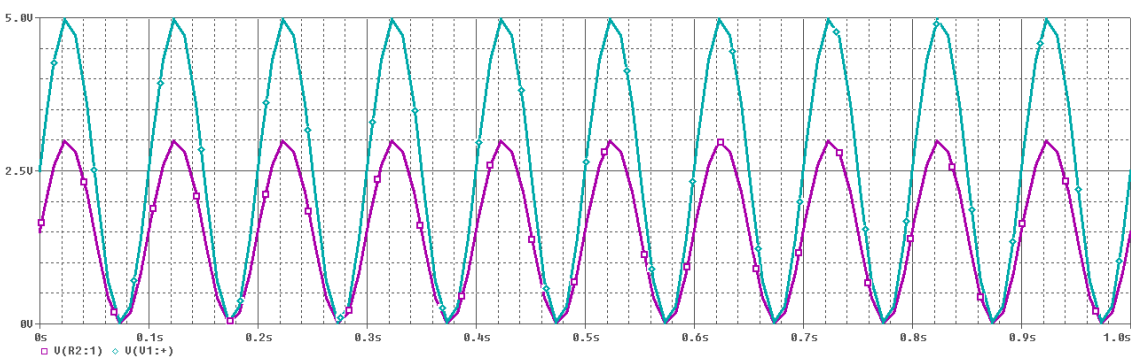
El rango de voltaje que puede llegar a proporcionar el sensor de CO2 elegido es de 265 mV a 325 mV. Por tanto, el objetivo es acondicionar dicha señal para que pueda ser interpretada por el microcontrolador. Para ello se utilizará una etapa amplificadora con el fin de verificar el resultado deseado.



**Figura 45.** Simulación sensor de CO2

## 8.3. Sensor MAP

Este sensor es de tipo lineal, el cual tiene como variable de entrada la presión y variable de salida un voltaje, cuyo rango varía entre 0 V y 5 V. Para ello se tiene que realizar una atenuación de la señal con el fin de adaptarla a las características requeridas del microcontrolador, las cuales indican que la señal de entrada no puede sobrepasar la tensión de alimentación.

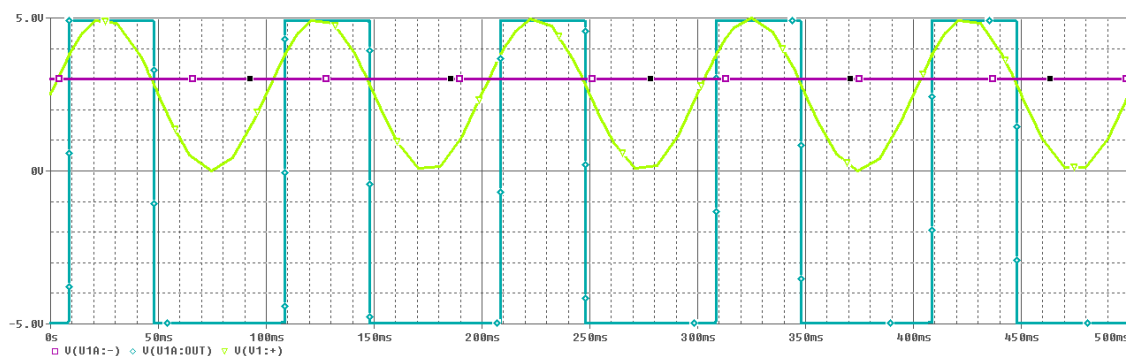


**Figura 46.** Simulación sensor MAP

## 8.4. Sensor SPD y RPM

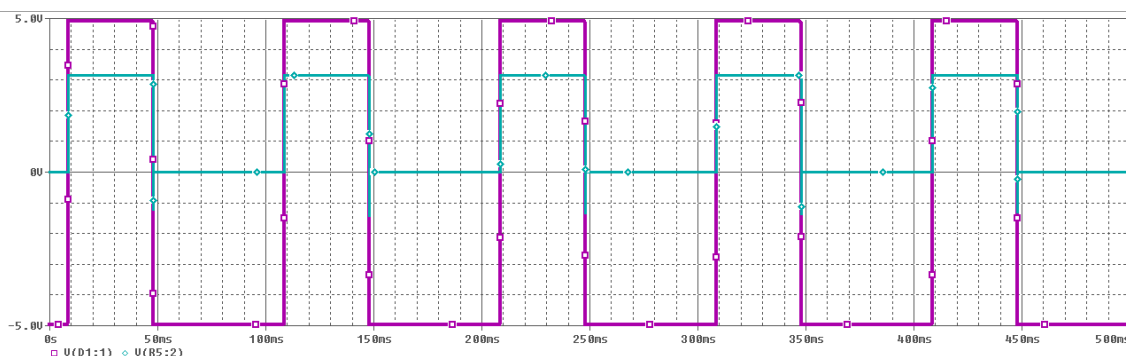
Se ha realizado la simulación de los sensores VSS y RPM como un único sensor de efecto hall, debido a su funcionalidad. Posteriormente se trata dicha señal mediante software para su uso correspondiente.

El sensor elegido para el prototipo electrónico proporciona una señal cuadrada de 5V de amplitud. Por lo tanto, tal y como sucedió con el sensor MAP, se debe de atenuar dicha señal.



**Figura 47.** Simulación del comparador con histéresis del sensor SPD y RPM

En la simulación anterior se puede observar el correcto funcionamiento del comparador con histéresis, el cual se obtiene una tensión lendar alta de 3,8 V y una tensión lendar baja de 2,2 V.

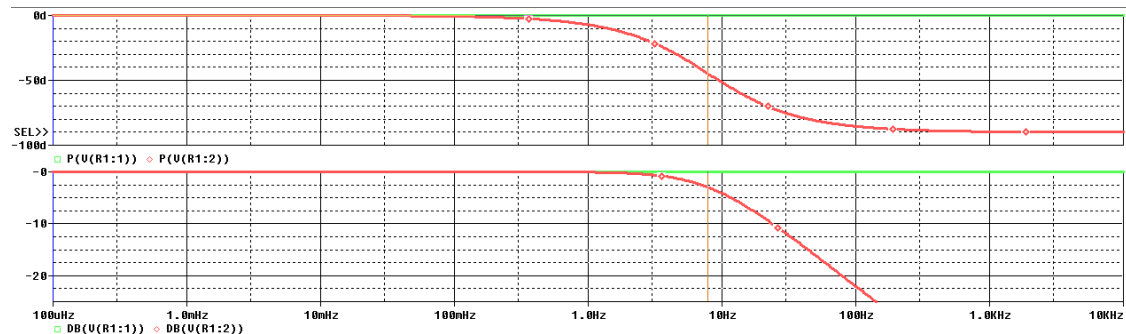


**Figura 48.** Simulación del sensor SPD y RPM respecto la salida del comparador

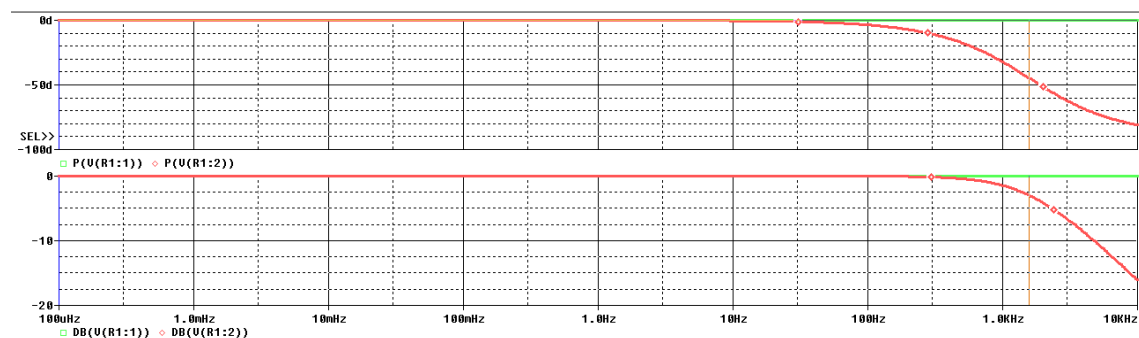


## 8.5. Filtro pasa-bajos de primer orden

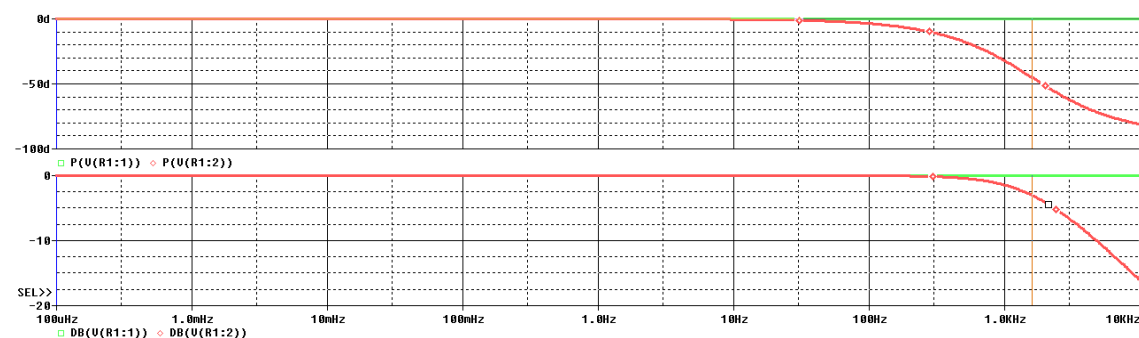
Para poder determinar el buen funcionamiento de los filtros pasa-bajos diseñados, se ha realizado, mediante la herramienta "Orcad Pspice", una simulación del diagrama de bode en el cual se puede observar su ganancia y fase de cada filtro empleado en el diseño.



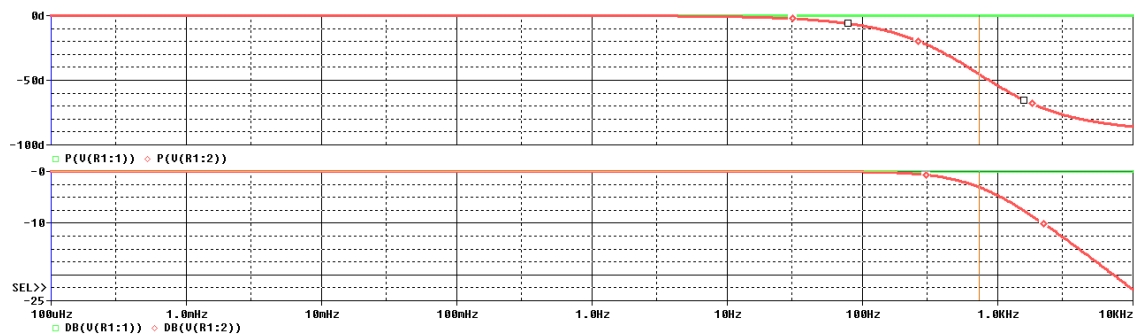
**Figura 49.** Diagrama de bode del filtro pasa-bajos para el sensor NTC



**Figura 50.** Diagrama de bode del filtro pasa-bajos para el sensor de CO2



**Figura 51.** Diagrama de bode del filtro pasa-bajos para el sensor MAP



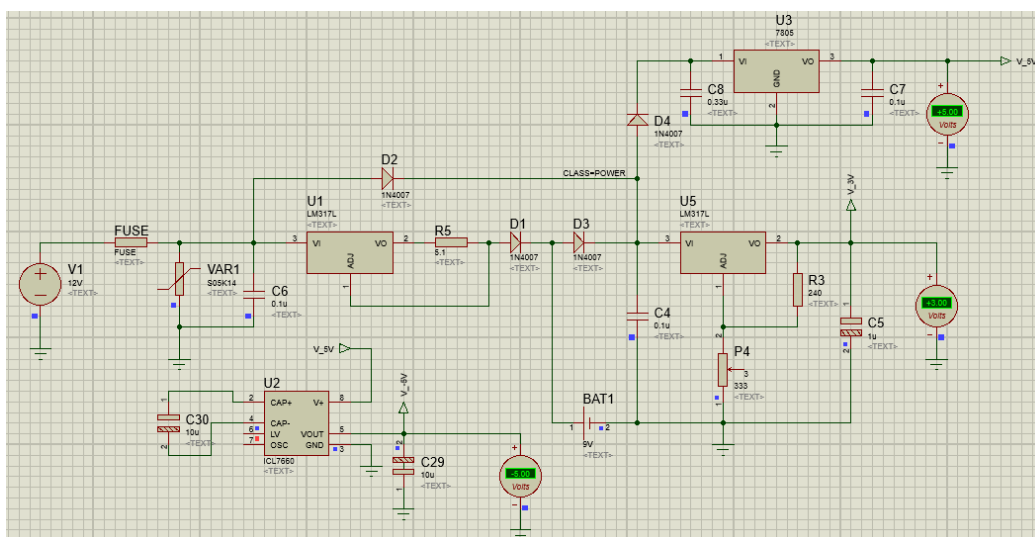
**Figura 52.** Diagrama de bode del filtro pasa-bajos para el sensor SPD y RPM

Al ser un filtro de primer orden, se puede observar como en -3 dB y -45 ° se obtiene la frecuencia de corte de los diferentes filtros, los cuales corresponden a los valores deseados en el diseño. Dichos valores son los siguientes:

- Frecuencia de corte para filtro del sensor NTC: 8 Hz.
- Frecuencia de corte para filtro del sensor de CO2: 1,5 kHz.
- Frecuencia de corte para filtro del sensor MAP: 1,6 kHz.
- Frecuencia de corte para filtro del sensor SPD y RPM: 723,43 Hz.

## 8.6. Etapa de potencia

Ya que sin alimentación no es posible que el prototipo funcione, es importante verificar si el diseño realizado es el correcto.

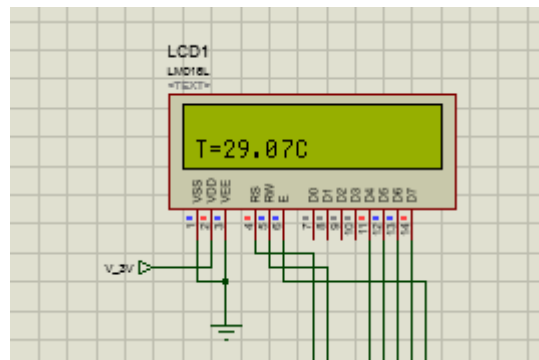


**Figura 53.** Simulación de etapa de potencia

## 8.7. Visualización por LCD

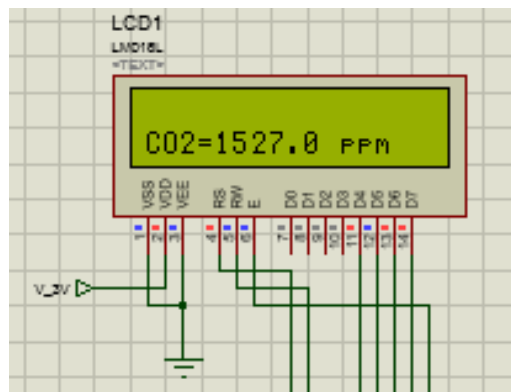
Una vez realizado las anteriores simulaciones, se procede a simular la visualización de datos por LCD de los distintos sensores utilizados, con el fin de verificar que el tratamiento de las señales mediante software es el deseado.

### 8.8.1. Sensor NTC



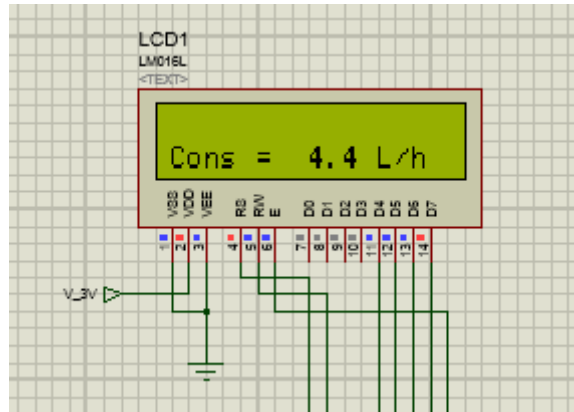
**Figura 54.** Simulación visualización de temperatura

### 8.8.2. Sensor de CO2



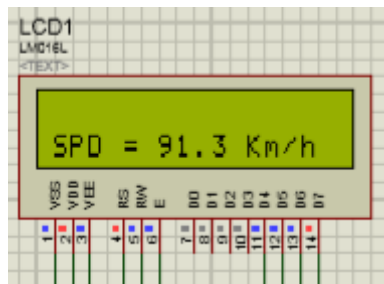
**Figura 55.** Simulación visualización de CO2

### 8.8.3. Sensor MAP



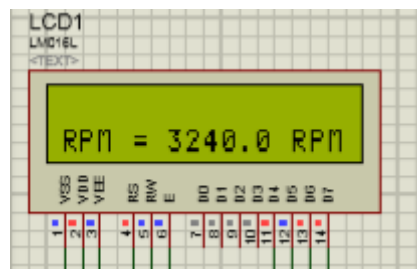
**Figura 56.** Simulación visualización de consumo

### 8.8.4. Sensor SPD



**Figura 57.** Simulación visualización de la velocidad lineal

### 8.8.5. Sensor RPM



**Figura 58.** Simulación visualización de las RPM

## Capítulo 9

# Comunicaciones

### 9.1. Características de la comunicación serie

#### 9.1.1. Codificación

Cuando se transmite información a través de una línea serie es necesario utilizar un sistema de codificación que permita resolver los siguientes problemas:

- **Sincronización de bits:** El receptor necesita saber donde comienza y donde termina cada bit en la señal recibida, para efectuar el muestreo de la misma en el centro del intervalo de cada símbolo (bit para señales binarias).
- **Sincronización del carácter:** La información serie se transmite, por definición, bit a bit, pero la misma tiene sentido en palabras o bytes.
- **Sincronización del mensaje:** Es necesario conocer el inicio y fin de cada cadena de caracteres para que el receptor pueda detectar algún error en la comunicación de un mensaje o para separar cadenas.

#### 9.1.2. Velocidad de transmisión

La velocidad de transmisión es la relación entre la información transmitida a través de una red de comunicaciones y el tiempo empleado para ello. Cuando la información se transmite digitalizada, esto implica que está codificada en bits (unidades de base binaria), por lo que la velocidad de transmisión también se denomina a menudo tasa binaria o tasa de bits (bit rate, en inglés).

La unidad para medir la velocidad de transmisión es el bit por segundo (bps) pero es más habitual el empleo de múltiplos como kilobit por segundo (kbps, equivalente a mil bps) o megabit por segundo (Mbps, equivalente a un millón de bps).

Es importante resaltar que la unidad de almacenamiento de información es el byte, que equivale a 8 bits, por lo que a una velocidad de transmisión de 8 bps se tarda un segundo en transmitir 1 byte.

La velocidad de transmisión puede verse afectada por el ancho de banda, o ruidos en el conductor sino está debidamente protegido. La velocidad de transmisión queda básicamente determinada por un reloj que marque los tiempos. El reloj sincroniza además todos los componentes internos.

### 9.1.3. Reloj

Cuando se establece la comunicación es necesario implementar una base de tiempo que controle la velocidad. En un microcontrolador, se utiliza la base de tiempos del reloj interno o un oscilador externo. Existen 3 formas:

- Reloj interno.
- A través de un oscilador. Para cambiar la frecuencia hay que cambiar el cristal.
- Generador de razón de baudios. Existen diferentes dispositivos especializados que generan diferentes frecuencias de reloj.

### 9.1.4. Líneas o canales de comunicación

Se pueden establecer canales de comunicación de tres tipos:

- Simplex
- Half duplex
- Full duplex

**Simplex:** En este caso la comunicación serie usa una dirección y una línea de comunicación. Siempre existirá un transmisor y un receptor, no ambos.

La ventaja de este sistema consiste en que es necesario sólo un enlace a dos hilos.

La desventaja está en que el receptor no tiene ninguna forma de avisar al transmisor sobre su estado y sobre la calidad de la información que se recibe. Esta es la razón por la cual, generalmente, no se utiliza.

**Half Duplex:** La comunicación serie se establece a través de una sola línea, pero en ambos sentidos. En un momento el transmisor enviará información y en otro recibirá, por lo que no se puede transferir información en ambos sentidos de forma simultánea.

Este modo, al ser bidireccional, permite la realización de procedimientos de detección y corrección de errores.

**Full Duplex:** Se utilizan dos líneas (una transmisora y otra receptora) y se transfiere información en ambos sentidos. La ventaja de este método es que se puede transmitir y recibir información de manera simultánea.

La mayoría de los dispositivos especializados para la comunicación pueden transferir información tanto en Full Duplex como en Half Duplex.

## 9.2. Modos de transmisión

Existen dos modos básicos para realizar la transmisión de datos y son:

- Modo asíncrono.
- Modo síncrono.

Las transmisiones asíncronas son aquellas en que los bits que constituyen el código de un carácter se emiten con la ayuda de impulsos suplementarios que permiten mantener en sincronismo los dos extremos.

En las transmisiones síncronas los caracteres se transmiten consecutivamente, no existiendo ni bit de inicio ni bit de parada entre los caracteres, estando dividida la corriente de caracteres en bloques, enviándose una secuencia de sincronización al inicio de cada bloque.

### 9.2.1. La transmisión asíncrona

Cuando se opera en modo asíncrono no existe una línea de reloj común que establezca la duración de un bit y el carácter puede ser enviado en cualquier momento. Esto conlleva que cada dispositivo tiene su propio reloj y que previamente se ha acordado que ambos dispositivos transmitirán datos a la misma velocidad.

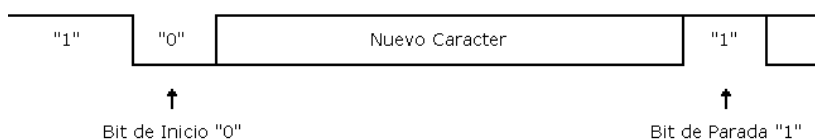
No obstante, en un sistema digital, un reloj es normalmente utilizado para sincronizar la transferencia de datos entre las diferentes partes del sistema. El reloj define el inicio y fin de cada unidad de información, así como la velocidad de transmisión. Si no existe reloj común, el mensaje debe sincronizarse con algún método.

La frecuencia con el que el reloj muestrea la línea de comunicación es mucho mayor que la cadencia en que llegan los datos. Por ejemplo, si los datos están llegando a una cadencia de 2400 bps, el reloj examinará la línea unas 19200 veces por segundo, es decir, ocho veces la cadencia binaria. La gran rapidez con que el reloj muestrea la línea, permite al dispositivo receptor detectar una transmisión de 1 a 0 o de 0 a 1 muy rápidamente, y mantener así una mejor sincronización entre los dispositivos emisor, receptor.

#### 9.2.1.1. Bit de inicio y bit de parada

En la transmisión asíncrona un carácter a transmitir es designado con un indicador de inicio y fin de carácter. De la misma forma que se separa una palabra con una letra mayúscula y un espacio en una oración. La forma estándar de designar un carácter es a través de un bit de inicio y un bit de parada.

Durante el intervalo de tiempo en el que no se transfieren caracteres, el canal debe poseer un "1" lógico. Al bit de parada se le asigna también un "1". Al bit de inicio del carácter a transmitir se le asigna un "0". Si ocurre, un cambio de nivel "1" a "0" lógico, se le indicará al receptor que un nuevo carácter será transmitido.



**Figura 59.** Transmisión asíncrona, bits de inicio y parada

#### 9.2.1.2. Reglas de transmisión asíncrona

La transmisión asíncrona está definida por la norma RS232, y se basa en las siguientes reglas:

- Cuando no se envían datos por la línea, ésta se mantiene en estado alto (1).
- Cuando se desea transmitir un carácter, se envía primero un bit de inicio que pone la línea en estado bajo (0) durante el tiempo de un bit.
- Durante la transmisión, si la línea está a nivel bajo, se envía un "0" y si está a nivel alto se envía un "1".
- A continuación se envían todos los bits del mensaje a transmitir con los intervalos que marca el reloj de transmisión. Por convenio se transmiten entre 5 y 8 bits.
- Se envía primero el bit menos significativo, siendo el más significativo el último en enviarse.



- Posteriormente al último bit de mensaje se envían los bits de fin de transmisión de un carácter, los cuales pueden estar formados por el bit o bits de parada y opcionalmente un bit de paridad.

Los datos codificados por esta regla, pueden ser recibidos siguiendo los pasos siguientes:

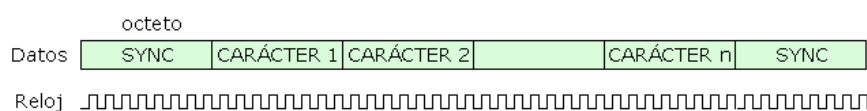
- Esperar la transición de "1" a "0" en la señal recibida.
- Activar el reloj con una frecuencia igual a la del transmisor.
- Muestrear la señal recibida al ritmo de ese reloj para formar el mensaje.
- Leer un bit más de la línea y comprobar si es "1" para confirmar que no ha habido error en la sincronización.

### 9.2.1.3. Velocidad de transmisión

En la transmisión asíncrona por cada carácter se envía al menos 1 bit de inicio y 1 bit de parada así como opcionalmente 1 bit de paridad. Esta es la razón de que los baudios no se correspondan con el número de bits de datos que son transmitidos.

### 9.2.2. La transmisión síncrona

Es un método más eficiente de comunicación en cuanto a velocidad de transmisión. Esto se debe a que no existe ningún tipo de información adicional entre los caracteres a ser transmitidos.

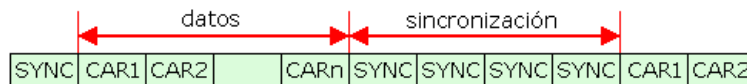


**Figura 60.** Transmisión síncrona

Cuando se transmite de manera síncrona lo primero que se envía es un octeto de sincronismo ("sync"). El octeto de sincronismo realiza la misma función que el bit de inicio en la transmisión asíncrona, indicando al receptor que enviará un mensaje. Este carácter, además, utiliza la señal local del reloj para determinar cuándo y con qué frecuencia será muestreada la señal, es decir, permite sincronizar los relojes de los dispositivos transmisor y receptor. La mayoría de los dispositivos de comunicación llevan a cabo una sincronización contra posibles desviaciones del reloj, cada uno o dos segundos, insertando para ello caracteres del tipo "sync" periódicamente dentro del mensaje.

Los caracteres de sincronismo deben diferenciarse de los datos del usuario para permitir al receptor detectar los caracteres "sync". Por ejemplo, el código ASCII utiliza el octeto 10010110.

Cuando se transmite de forma síncrona, es necesario mantener el sincronismo entre el transmisor y el receptor cuando no se envían caracteres, para ello se añaden caracteres de sincronismo de manera automática por el dispositivo que realiza la comunicación.



**Figura 61.** Inserción de caracteres de sincronismo

### 9.3. Detectar errores en la comunicación

Cuando se escriben o se envían datos, pueden producirse errores, entre otras cosas, por ruidos inducidos en las líneas de transmisión de datos. Por eso algunas veces se usan métodos que determinen si se ha producido un error para comprobar la integridad de los datos transmitidos.

En un caso típico, si al transmitirse un mensaje se determina que se ha producido un error, el receptor solicita de nuevo el mensaje al emisor.

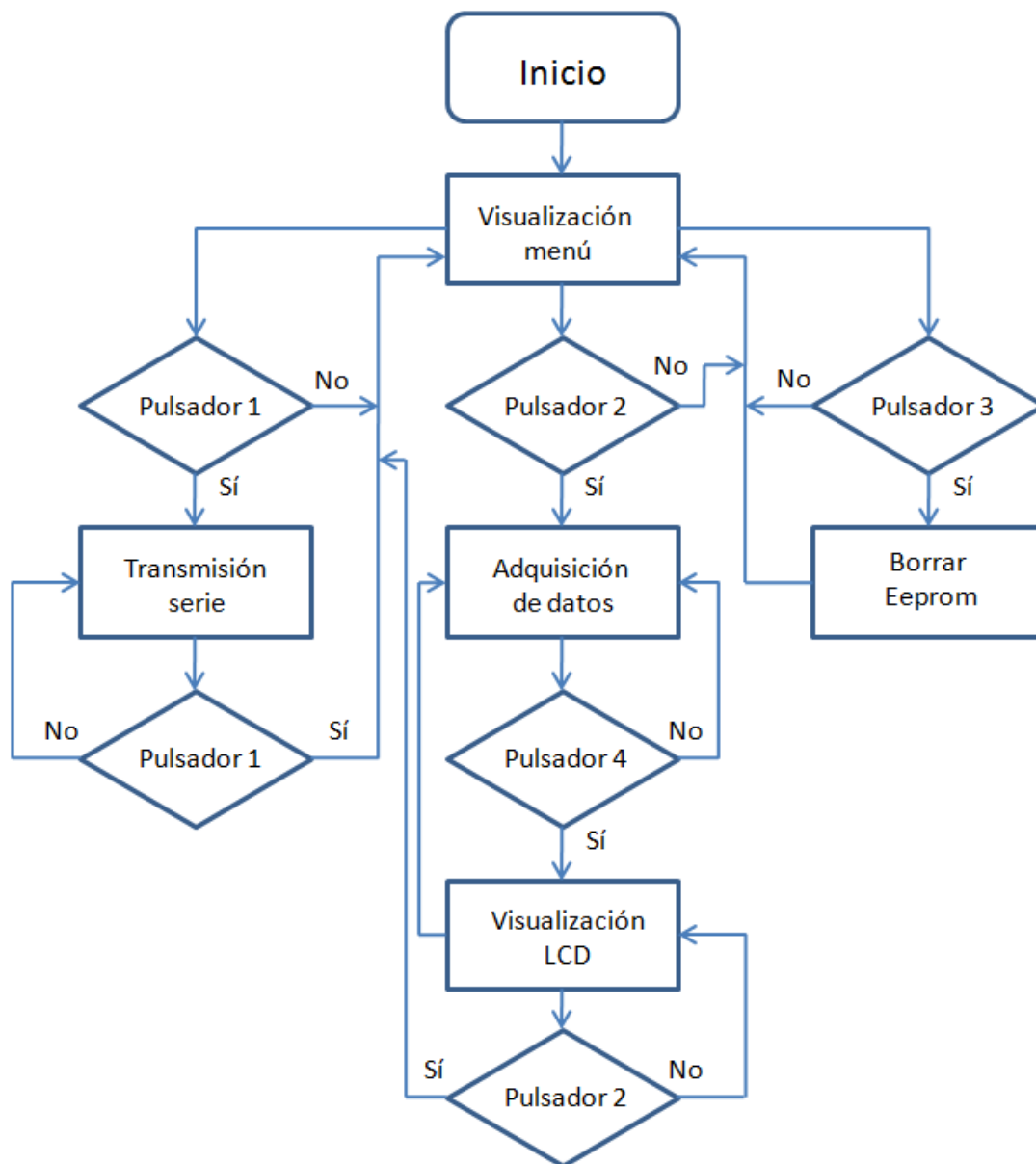
Se pueden detectar errores de acuerdo a la forma de transmisión:

- Transmisión asíncrona:
  - a. Paridad.
  - b. Sobre escritura.
  - c. Error de encuadre (framing).
- Transmisión síncrona:
  - a. Paridad.
  - b. Sobre escritura.

## Capítulo 10

# Software

### 10.1. Diagrama de flujo



**Figura 62.** Diagrama de flujo

## 10.2. Software interno

### 10.2.1. Termistor NTC

$$R_T = \frac{V_{IN} \cdot R_1}{V_{CC} - V_{IN}} \quad T_T = \frac{1}{\frac{1}{\beta} \cdot \ln\left(\frac{R_T}{R_{T25}}\right) + \frac{1}{T_{25}}} - T_0$$

$R_T$ : Resistencia del termistor ( $\Omega$ )

$V_{IN}$ : Voltaje de entrada al microcontrolador

$R_1$ : Resistencia paralela al termistor ( $\Omega$ )

$V_{CC}$ : Voltaje de alimentación

$T_T$ : Temperatura del termistor

$\beta$ : Parámetro del termistor NTC

$R_{T25}$ : Resistencia del termistor a 25 °C ( $\Omega$ )

$T_{25}$ : Temperatura 25 °C (en K)

$T_0$ : Temperatura 0 °C (en K)

A continuación se muestra el fragmento de código correspondiente a la formula de la NTC en código CCS:

```
// FORMULA INICIO
ntc_adc=3.0*ntc_in/1024.0; // Vin = ntc_adc
ntc_rt=ntc_adc*100000.0/(3.0-ntc_adc);
ntc_x=log(ntc_rt/100000.0);
ntc_x=(1.0/298.15)+(ntc_x*(1.0/4250.0)); // Beta_ntc = 4250
ntc_temp=1.0/ntc_x;
ntc_temp=ntc_temp-273.15;
// FORMULA FIN
```

## 10.2.2. Concentración de CO2

$$\log(CO2_{OUT}) = \frac{[V_{IN} - (CO2_{INI} * AO_{GAIN})] * [\log(400) - \log(1000)]}{CO2_{DISPERS} * AO_{GAIN}} + \log(400)$$

$$CO2_{OUT} = 10^{\log(CO2_{OUT})}$$

CO2 <sub>OUT</sub> :	Concentración de CO2
CO2 <sub>INI</sub> :	Punto de trabajo inicial
CO2 <sub>DISPERS</sub> :	Valor de dispersión de la fórmula logarítmica
AO <sub>GAIN</sub> :	Ganancia del amplificador
V <sub>IN</sub> :	Voltaje de entrada al microcontrolador

A continuación se muestra el fragmento de código correspondiente a la fórmula de la concentración de CO2 en código CCS:

```
CO2_ini=0.325;           // Punto de trabajo inicial
CO2_dispers=0.0171;      // Valor de dispersión de fórmula logarítmica
AO_gain=5.0;             // Ganancia del amplificador

// FORMULA INICIO
CO2_adc=3.0*CO2_in/1024.0;
CO2_x=CO2_adc-(CO2_ini*AO_gain);
CO2_y=log10(400.0)-log10(1000.0);
CO2_z=(CO2_x*CO2_y)/(CO2_dispers*AO_gain);
CO2_out=pow(10,CO2_z+log10(400.0));
// FORMULA FIN
```

## 10.2.3. Sensor de velocidad

$$SPD_{OUT} = 2 * \pi * SPD_{VUELTAS} * SPD_{RADIO} * CNVS$$

$$SPD_{VUELTAS} = \frac{SPD_{CNTD}}{4}$$

SPD <sub>OUT</sub> :	<i>Velocidad del vehículo</i>
SPD <sub>VUELTAS</sub> :	<i>Vueltas en un intervalo de tiempo</i>
SPD <sub>RADIO</sub> :	<i>Radio de la rueda (m)</i>
SPD <sub>CNTD</sub> :	<i>Contador de flancos</i>
CNVS :	<i>Conversión m/s a Km/h (3.6)</i>

A continuación se muestra el fragmento de código correspondiente a la fórmula de la velocidad del vehículo en código CCS:

```
spd_radio=0.31075;
spd_in=input(pin_B1);

if (spd_count<20)
{
    if (spd_in == 1)
    {
        spd_flag=1;
    }
    if ((spd_in == 0)&&(spd_flag == 1))
    {
        spd_cntd++;
        spd_flag=0;
    }
}

if (spd_count>=20)
{
    spd_vueltas=spd_cntd/4;
    spd_out=(2*pi*spd_vueltas/2*spd_radio*3.6);
}
```

#### 10.2.4. Sensor de RPM

$$RPM_{OUT} = 60 * RPM_{VUELTAS}$$

$$RPM_{VUELTAS} = RPM_{CNTD}$$

RPM <sub>OUT</sub> :	<i>Revoluciones por minuto del motor</i>
RPM <sub>VUELTAS</sub> :	<i>Vueltas en un segundo</i>
RPM <sub>CNTD</sub> :	<i>Contador de flancos</i>

A continuación se muestra el fragmento de código correspondiente a la formula de las RPM del motor en código CCS:

```
rpm_in=input(pin_B0)

if (rpm_count<20)
{
    if (rpm_in == 1)
    {
        rpm_flag=1;
    }
    if ((rpm_in == 0)&&(rpm_flag == 1))
    {
        rpm_cntd++;
        rpm_flag=0;
    }
}

if (rpm_count==20)
{
    rpm_vueltas=rpm_cntd;
    rpm_out=(60*rpm_vueltas/2); //60s=1min//2s muestreo
}
```

### 10.2.5. Consumo de combustible

#### Formula del sensor

$$V_{IN} = 5 \cdot (0.004 \cdot P - 0.04)$$

$$V_{IN} = 0.02P - 0.2$$

$$P = \frac{V_{IN} + 0.2}{0.02}$$

P: *Presión absoluta del aire [kPa]*

V<sub>IN</sub>: *Voltaje de entrada al microcontrolador [V]*

Ley de gases ideales

$$\rho = \frac{P * M}{R * T}$$

$$R = 8.314472 \frac{L * kPa}{K * mol}$$

$\rho$ : Densidad [kg/L]

T: Temperatura del gas = Temperatura ambiente = 298.15 [K]

$M_{aire}$ : Masa atómica = 0.01447 [kg/mol]

R: constante universal de los gases ideales

$$\rho_{(aire)} = \frac{P * M_{(aire)}}{R * T}$$

$$\rho_{(aire)} = 5.837125654 * 10^{-6} * P \left[ \frac{kg}{L} \right]$$

Si fijamos un motor con una cilindrada de 750 cc que equivale a 0.75L.

$$V_{aire} = RPM * \left( \frac{cilindrada}{2} \right)$$

$$V_{aire} = 0.375 * RPM [L]$$

$$M_{aire} = \rho_{aire} * V_{aire} [kg]$$

$$M_{aire} = 2.18892212 * 10^{-6} * P * RPM [kg]$$

Sabemos que cuando se realiza una combustión en el motor de inyección se utilizan 12,5 partes de aire por 1 de gasolina.

$$M_{gas} = \frac{M_{aire}}{12.5} [kg]$$

$$M_{gas} = 1.75113769 * 10^{-7} * RPM * P [kg]$$

Como sabemos que un litro de gasolina pesa 0.76 kg

$$V_{gas} = \frac{M_{gas}}{0.76} = 2.30412854 * 10^{-7} * RPM * P [L]$$



$$C_{\text{comb}} = 2.30412854 * 10^{-7} * \text{RPM} * P \text{ [L/s]}$$

Este valor es por minuto. Por tanto debe multiplicarse por 60 para saber cuánto es en una hora:

$$C_{\text{comb}} = 1.382477124 * 10^{-5} * \text{RPM} * \frac{V_{\text{IN}} + 0.2}{0.02} \text{ [L/h]}$$

A continuación se muestra el fragmento de código correspondiente a la fórmula del consumo de combustible en código CCS:

```
// FORMULA INICIO
map_adc=5.0*map_in/1024;
map_pres=(map_adc+0.2)/0.02;
map_vol=1.382477124*0.00001;
map_consm=map_vol*rpm_out*map_pres;
// FORMULA FIN
```

### 10.3. Software externo

"HyperTerminal" es un software de comunicación muy simple de configurar. En este caso, para este prototipo electrónico solo es necesario el uso de un cable que consta de un conector RS-232 que se conectará en la placa y un conector USB que se conectará en el PC. Este cable dispone de un CD de drivers para que el ordenador reconozca la entrada USB como un puerto de comunicación "COM".

Una vez todo conectado solo es necesario abrir "HyperTerminal" y crear una conexión nueva donde se deben ajustar los parámetros de funcionamiento de forma exacta a la que se hizo en programación. A continuación se muestra el fragmento de código de la programación de la comunicación:

```
"#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)"
```

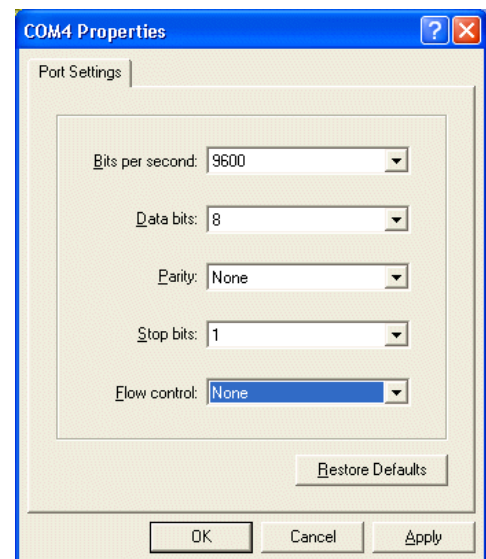


Figura 63. Configuración HyperTerminal

# Capítulo 11

## Normativa

### 11.1. Normativa de protección frente a cargas electroestáticas (NTP 567)

#### 11.1.1. Componentes sensibles a la descarga electrostática

Se debe establecer como principio básico que todos los dispositivos y todas las tecnologías, en mayor o menor grado, pueden sufrir daños por efecto de la descarga electrostática.

#### 11.1.2. Posibles daños en componentes

El dispositivo puede resultar dañado en cualquiera de las fases por las que pasa: en fabricación, ensamblaje, transporte, almacenamiento, verificación, y montaje del dispositivo en la placa.

Y también a partir del momento en que queda instalado en la placa. Es preciso tener en cuenta que un componente sensible al ESD (*electro static discharge*) sensibiliza a la placa y al equipo donde se le inserta. Por ello en todas las tareas posteriores de verificación del equipo, instalación y reparaciones que hubiera que efectuar, deben ser tenidas en cuenta todas las precauciones relativas a ESD.

#### 11.1.3. Cómo el ESD puede afectar a los dispositivos y a los circuitos

Son diversas las formas en las que el ESD puede dañar a un componente:

1. En primer lugar, la más simple: una transferencia súbita de carga entre dos cuerpos, implica una variación en la magnitud de dicha carga en un intervalo de tiempo, muy corto en el caso de descarga electrostática. Ello puede dar lugar a picos de corriente de una magnitud de hasta varios amperios, intensidad de corriente capaz de dañar al componente. Son tan cortos los transitorios característicos de ESD que, en muchos casos, el calor generado no tiene tiempo de disiparse por el sustrato y pueden producirse fusiones del material conductor que llega, en ocasiones, a vaporizarse.
2. Si un cuerpo cargado llega a ponerse en contacto con un componente, puede ocurrir que las diferencias de potencial que se presenten entre dicho cuerpo y diferentes partes del componente, sean tan elevadas como para dar lugar a perforaciones de las capas dieléctricas. Notemos que en los dispositivos electrónicos actuales, las capas de dieléctrico pueden llegar a ser tan delgadas como unas decenas de nanómetros, por lo que su perforación puede producirse a tensiones realmente bajas.
3. Aunque un cuerpo cargado no llegue a tomar contacto con el componente puede también dañarlo si se mueve en sus proximidades, ya que puede poner en movimiento cargas móviles en los conductores del dispositivo, es decir, inducir en él corrientes de suficiente intensidad como para causarle daños.
4. Por acoplamiento capacitivo el pulso de ESD puede dar lugar a corrientes en diferentes partes del circuito. En efecto las capacidades parásitas, aunque pequeñas, pueden constituirse en caminos para la señal, por los que circulen elevadas corrientes. La corriente entre dos pistas entre las que existe una capacidad parásita puede ser calculada mediante la ecuación:

$$I = C \cdot \frac{dV}{dT}$$

5. Los rapidísimos pulsos de corriente característicos de la descarga electrostática de corriente pueden también dar lugar a la aparición de voltajes a lo largo de la longitud de una pista o de un hilo, voltajes que pueden llegar a ser de gran magnitud.

La aparición de estos voltajes puede causar diferentes problemas en los circuitos debido a la diferencia de potencial que va a aparecer entre unos puntos y otros del circuito. Así, una descarga que ocurriera en su salida, por ejemplo por una manipulación poco cuidadosa por parte de un operador, podría transmitirse al circuito de retorno de ambos amplificadores por efecto de la resistencia parásita  $C$ . Y una vez aquí, debido

a la autoinducción propia del conductor, podría ocurrir que cada uno de dichos amplificadores presentara diferente potencial respecto a tierra, lo cual podría dar lugar a un funcionamiento inadecuado del conjunto.

6. Una descarga electrostática que tenga lugar en un intervalo de unos pocos nanosegundos da lugar a la emisión de radiación electromagnética (EMI, Electro Magnetic Interference) en una amplia banda de frecuencia. Como consecuencia de ello, puede ocurrir que, en sus proximidades, algún elemento metálico de otro circuito, actuando como antena, recoja esta radiación e introduzca en este circuito la señal que se induce como consecuencia. En muchos casos este hecho puede tener consecuencias muy negativas, especialmente en el caso de que en los circuitos que recojan la señal operen microprocesadores rápidos, cuya respuesta ante el pulso extra es impredecible.

#### **11.1.4. Nivel de sensibilidad de los dispositivos electrónicos al ESD**

Dependerá de varios factores:

- A. Parámetros del dispositivo: espesor de las capas de dieléctrico, anchura de pistas, longitud y anchura del canal, profundidad de la unión, etc.
- B. Tecnología del dispositivo. Las diversas tecnologías presentan diferentes niveles de sensibilidad al ESD pero aún dentro de una misma tecnología el margen de sensibilidad puede ser muy amplio.
- C. Si existen o no sistemas de protección.

#### **11.1.5. Mecanismos de fallo en ESD**

- A. Fallos dependientes de la potencia: Este tipo de fallo puede también ser denominado como dependiente de la corriente ya que, en realidad, es el calor generado como consecuencia de la circulación de una corriente eléctrica el que lleva al dispositivo al fallo. Debido a la corta duración de los pulsos de ESD la energía disipada por los mismos puede dar lugar a elevados gradientes de temperatura que provoquen un embalamiento térmico que lleve a las uniones a un corto, a fusión de pistas conductoras etc.
- B. Fallos dependientes del Voltaje: Existen dispositivos que poseen delgadas capas de dieléctricos, las cuales pueden resultar dañadas por voltajes no muy elevados.

### 11.1.6 Clasificación de los fallos debidos al ESD

- A. Fallos caracterizados porque el dispositivo queda destruido o seriamente degradado en el mismo instante en que se produce un transitorio de ESD: El componente quedará fuera de uso tras recibir el pulso, bien sea por fallo catastrófico, bien porque sus parámetros queden tan lejos de los característicos que se convierta en no operativo.
- B. Fallos latentes: Se entiende por fallo latente debido a ESD a aquél caracterizado porque en el componente se han producido alteraciones físicas insignificantes que, sin afectar al mismo de forma inmediata, lo dañan de modo que con el tiempo lo llevarán al fallo. Los fallos latentes no son detectables con las técnicas habituales de test y análisis. Se trata, pues, de defectos que aunque existen, permanecen escondidos y sin dar evidencia alguna de su presencia. No obstante, existe mucha controversia acerca de si todos los fallos latentes se caracterizan por presentar necesariamente una degradación con dependencia temporal, es decir si un dispositivo afectado por un fallo latente se irá, con el curso del tiempo y en operación, degradando hasta quedar fuera de uso. Hay opiniones contrarias que mantienen que los fallos latentes no tienen porqué, necesariamente, implicar fallo en el futuro.
- C. Daños acumulativos: El umbral de daño de tensión puede definirse como el nivel para el cual el componente queda dañado con sólo un transitorio de ESD. Ahora bien, el daño de ESD se puede producir también por sucesivas aplicaciones de transitorios de niveles inferiores al umbral de daño del componente. Así, aunque un pequeño pulso de ESD puede no tener efecto apreciable sobre el componente, sucesivos pulsos de pequeña magnitud pueden llevarle a la destrucción.

### 11.1.7. Algunos fallos típicos debidos a descarga electrostática

- *Dispositivos MOS*: El tipo de fallo característico de los dispositivos MOS es la perforación del óxido de puerta como consecuencia de haberse sobrepasado la tensión de ruptura característica de dicho óxido. En el caso de óxido térmico, la tensión de ruptura es de  $8 \cdot 10^6$  V/cm a  $10 \cdot 10^6$  V/cm, lo cual significa que para unos espesores de óxido de puerta típicos de 100 nm la ruptura se puede producir con tensiones tan bajas como 100 V, y en el caso de que existieran imperfecciones en este óxido, la ruptura aún a menor tensión.

- *Fallos en condensadores integrados.* El tipo de fallo es análogo al anterior: al sobrepasarse la tensión de ruptura del dieléctrico se produce una perforación del mismo. Un fallo de este tipo se describirá más adelante en el apartado "Análisis de un caso de fallo por descarga electrostática".
- *Fallos en las uniones:* Normalmente los fallos en las uniones PN debidos a ESD ocurren bajo condiciones de polarización inversa de las mismas, debido a los elevados campos que se crean. Los daños físicos son en ocasiones difíciles de detectar ya que pueden consistir simplemente en pequeñas zonas fundidas en el interior del material. Solamente en los casos mas severos pueden aparecer superficialmente consecuencias del fenómeno de descarga electrostática.
- *Fallos en las metalizaciones:* El fallo típico de una pista conductora es la fusión e incluso vaporización de la misma, como consecuencia del calor generado por efecto Joule. Es conveniente tener siempre en cuenta que, en muchos casos, las fusiones de pistas conductoras son causadas no por efecto de ESD, sino por EOS (Electrical Overstress).

## 11.2. Normativa de interferencias eléctricas (ISO-7637-2:201)

Por interferencias se entiende cualquier tipo de influencias físicas que contamine las señales o que reduzca la capacidad o prestaciones del sistema. Las interferencias pueden proceder del propio sistema, de equipos externos o del entorno ambiental. Las interferencias eléctricas se pueden introducir por conducción, acoplo capacitivo, inducción magnética, o radiación electromagnética. Existen otras causas no eléctricas que también producen interferencias, como las vibraciones, la radiación térmica, etc. Fuentes típicas de interferencia son:

- 1) La red eléctrica de potencia, que en España es de 50 Hz, es la principal fuente de interferencia, ya que es omnipresente y que por ella fluyen altos niveles de intensidades.
- 2) Las variaciones de la temperatura, y los gradientes de temperaturas en los sistemas electrónicos tienen una gran influencia sobre todos los dispositivos semiconductores.

3) Los golpes y vibraciones mecánicas generan fallos y micro-interrupciones en las conexiones y soldaduras deficientes.

4) Los motores de explosión, generan una señal disruptiva de alta potencia y con un espectro frecuencial muy amplio en el rango entre 30 y 300 MHz.

5) Los sistemas digitales se alimentan mediante intensidades que cambian de forma impulsiva durante los cambios de estado, a la frecuencia del reloj. Su magnitud y espectro frecuencial es fuertemente dependiente de los tiempos de cambio entre estados.

6) Los conmutadores de potencia generan impulsos de gran amplitud que son fuente de intensas interferencias. Los conmutadores electrónicos basados en tiristores, y dispositivos electrónicos de conmutación, que se utilizan en el control de motores y fuentes de potencia, son generadores de ruidos de amplio espectro, como consecuencia de la rapidez de sus cambios y del nivel de las intensidades que conmutan.

7) La escobillas de los colectores de los motores eléctricos constituyen unos interruptores mecánicos que operan a gran velocidad, y que generan un ruido con espectro entre 1 y 10 KHz.

8) Las descargas de arco que se producen en los sistemas de muy alta tensión, cuando están en mal estado, o cuando la atmósfera en la que operan es húmeda, proporciona un espectro blanco de gran amplitud.

9) En las lámparas de descarga, como los tubos fluorescentes o de neón, generan un ruido de interferencia con espectro relevante por encima de 1 MHz. En este caso, un elemento de filtro, como puede ser una inducción que trate de mantener constante la corriente, lo reduce drásticamente.

10) Otras fuentes de interferencias habituales son los equipos que operan con espectros frecuenciales muy estrechos, como los generadores de RF magnetrones, equipos de soldadura y cualquier tipo de transmisor. Las interferencias pueden eliminarse básicamente a través de las siguientes medidas:

a) Alejando y orientando de forma adecuada los equipos de las fuentes de interferencia, de forma que su captación se mínima.

b) Utilizando blindajes en los cables y cajas de aislamiento y protección sobre los equipos, para disminuir el acoplamiento entre estos y las fuentes de interferencia.

c) Utilizando amplificadores de aislamiento, que bloquee la transmisión de las señales generadas por las interferencias.

### 11.2.1. Acoplo conductivo

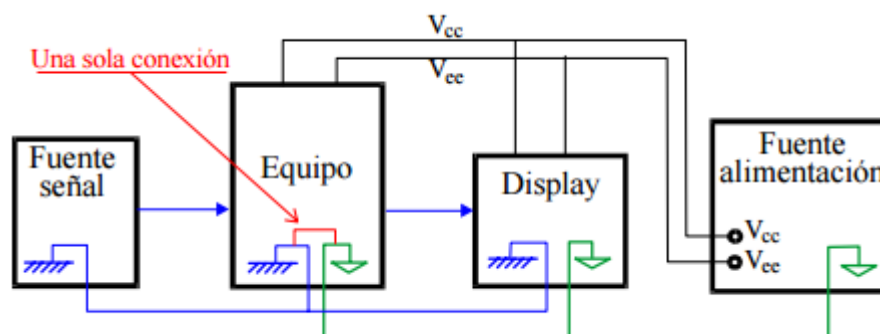
El acoplo conductivo se produce como consecuencia de que dos o más circuitos o equipos comparten una señal de retorno común. Bajo esta situación, la corriente de retorno de un circuito fluye a través de la impedancia finita de la línea de retorno común generando en ella una variación de potencial que se observa desde el otro circuito, como una interferencia por cambio de su referencia de su tierra. El acoplo conductivo requiere más de dos cables de retorno para cerrar la corriente de interferencia (uno suele ser la propia tierra).

Es muy común en sistemas distribuidos con cables de transferencia de señal y de alimentación largos. Una característica que solo se presenta en la interferencia de tipo conductiva, es que puede presentar una señal con nivel medio no nulo. Dada la relevancia de los nudos de referencia en un sistema de instrumentación o eléctrico en general, se definen tres tipos de tierra, a los que se le asignan diferentes símbolos para representarlos.

- **Tierra de seguridad:** Conexión eléctrica al planeta, a través de la estructura metálica del edificio y de cables distribuidos a este fin.
- **Tierra de señal:** Tensión que se toma como referencia para interpretar una señal de tensión en un equipo.
- **Tierra de retorno:** Línea que se utiliza para soportar la intensidad de retorno de las líneas de señal y de las líneas de retorno.

Recomendaciones para reducir las interferencias conductivas son:

- 1) Asegurar que las líneas de retorno de referencia a tierra, de la señal y de las fuentes de alimentación sean diferentes y sólo se unan en un único nudo.



**Figura 64.** Esquema de los distintos tipos de tierra

- 2) No conectar equipos de medida sensibles, y equipos generadores de interferencia (motores, máquinas de soldadura, etc.) sobre la misma línea de red de alimentación.



- 3) Conectar las referencias a tierra de las diferentes etapas mediante líneas de tierra independientes que se interconexionan entre sí en un único nudo.
- 4) Garantizar que los cables a tierra de las diferentes plantas del edificio sean independientes y se encuentren conectados en un único punto común de tierra.
- 5) La resistencia de un conductor es fuertemente dependientemente de la frecuencia, ya sea por efecto skin o por la geometría de la línea de acoplo en alta frecuencia. Por ello, sistemas de retorno a tierra que en continua son aceptables, no lo son para alta frecuencia. Así, se debe utilizar como líneas de tierra cables mallados de muchos hilos, y también se debe evitar mantener hilos de retorno de señal paralelos a los planos de tierra.
- 6) Introducir filtros que bloqueen las señales de interferencia. Para ello se utilizan choques inductivos en serie con las líneas de señal y cortocircuitos capacitivos en paralelo entre las líneas de alimentación. Un choque inductivo facilita el paso de las señales DC y en modo diferencial se transmite, mientras que la señal en modo común se bloquea.

### **11.2.2. Interferencias eléctricas y magnéticas**

Cuando entre los diferentes nudos de un circuito existen diferencias de potencial, se presentan campos eléctricos entre ellos, y si estos son variables en el tiempo, entre esos nudos se producen interferencias capacitivas o eléctricas. Cuando por un conductor fluye una corriente eléctrica genera en el espacio que lo rodea un campo magnético, cuando la corriente varía en el tiempo, induce una fuerza electromotriz sobre cualquier bucle que atraviese el campo variable que genera. El efecto de interferencia de los campos eléctricos y magnéticos disminuye con la distancia a la fuente.

A largas distancias el campo eléctrico y magnético se propaga en forma combinada como ondas planas electromagnéticas, y en estos casos se habla de interferencias electromagnéticas o de radiación.

### **11.2.3. Interferencias por campo eléctrico o capacitivo**

Es el que se produce entre conductores próximos que están sometidos a potenciales que varían en el tiempo y que por ello dan lugar a campos eléctricos variables que afectan a aquellos otros que se encuentran en su entorno.

Las interferencias de tipo eléctrico se modelan desde el punto de vista circuital como las interferencias que se producen entre dos sistemas como consecuencia de las capacidades parásitas que existen entre los conductores que pertenecen a cada uno de ellos. Entre dos conductores próximos existe una capacidad parásita que es proporcional al área de los conductores e inversamente proporcional a la distancia entre ellos.

Entre dos conductores que transfieren señal se produce una interferencia como consecuencia del acoplo entre los nudos eléctricos que representan por la existencia de una capacidad entre ellos.

Se puede reducir la interferencia, utilizando los siguientes criterios:

1. Reduciendo la capacidad entre los conductores. Lo cual se puede realizar, bien alejando los conductores, o disminuyendo el área de superposición.
2. Reduciendo la impedancia del circuito afectado.
3. Disminuyendo el nivel de señal del circuito que genera la interferencia.
4. Disminuyendo la frecuencia de la fuente de ruido. Lo cual no suele ser habitualmente posible.

El método más eficaz de reducir el acoplo capacitivo es introduciendo un blindaje de apantallamiento entre ambos conductores, y conectando este a tierra. El blindaje de apantallamiento solo es efectivo si se encuentra conectado a tierra. Un blindaje flotante puede incrementar la interferencia ya que puede incrementar el acoplamiento capacitivo entre los conductores que separa.

#### **11.2.4. Blindajes, apantallamientos y puestas a tierra.**

Se ha planteado la necesidad de introducir blindajes de cables y apantallamientos de equipos para eliminar las interferencias eléctricas por acoplamiento capacitivo, y así mismo, la necesidad de que los blindajes y los apantallamientos estén conectados a tierra para que sean eficaces.

Así mismo, se ha planteado que para evitar las interferencias conductivas y las interferencias magnéticas, se deben evitar las conexiones múltiples entre equipos, que provocan corrientes de deriva, y bucles que captan campos magnéticos. Ambas condiciones son a veces contradictorias.

En el caso de un equipo con un único apantallamiento, es importante que la interconexión del nudo de referencia del circuito, con el apantallamiento del equipo, solo se realice en un punto. En caso contrario, las caídas de tensión conductivas a través del blindaje producen un efecto de interferencia.

En el caso de sistemas con múltiples cajas de apantallamientos, también es adecuado buscar que en el conjunto de equipos solo haya una conexión entre el nudo común de señal y el apantallamiento. En este caso hay que utilizar cables blindados de múltiples hilos, para transferir la línea de referencia común.

### 11.3. Normativa diseño PCB

Son varias las reglas que hay que tener en cuenta para el trazado correcto de las conexiones. Las más destacadas son las siguientes:

- Siempre deben evitarse los ángulos agudos en los cambios de dirección de una pista o en las intersecciones entre dos pistas.
- En las pistas que sean portadoras de alta frecuencia (con carácter general, igual o mayor de 1 MHz) deben evitarse los ángulos de 90º en los mismos casos que en el apartado anterior.
- Cuando más de dos pistas discurren paralelas la distancia de separación debe ser uniforme.
- En las uniones pista-pad la pista debe ser radial a dicho pad, y no tangencial.
- No deben unirse directamente dos o más pads. Dicha unión se debe hacer mediante una pista, aunque sea de pequeña longitud.
- En cada pad sólo pueden concurrir cuatro pistas como máximo, y nunca formando ángulos agudos entre ellas.
- Se tratará de realizar un diseño lo más sencillo posible: mientras más cortas sean las pistas mejor.
- Para determinar el ancho de cada pista hay que tener en cuenta la corriente que ésta debe soportar. A título informativo, con un grosor de la capa de cobre de 35 mm, 4 mm de anchura de pista soportan de 8 a 10 A máximo, 1,5 mm para 2 a 4 A y 0,2 mm para 0,5 A.

- La separación mínima de pistas para tensiones de trabajo pequeñas es de 0,3 mm. Dicha separación debe aumentarse para tensiones de trabajo mayores.
- El diámetro de los pads debe ser como mínimo el doble de la pista más ancha que conecte con él. Si la pista fuese más ancha de 5 ó 6 mm el diámetro del pad puede coincidir con la anchura de la pista.
- En aquellos casos en los que el circuito esté compuesto por una parte digital y otra analógica, deben existir dos líneas de masa independientes, una para cada parte. La unión de ambas debe realizarse en un solo punto.
- La anchura mínima de las pistas de alimentación será de 1 ó 2 mm, independientemente de la corriente que el circuito vaya a consumir.

## 11.4. Normativa RS-232

El protocolo RS-232 es una norma o estándar mundial que rige los parámetros de uno de los modos de comunicación serial. Por medio de este protocolo se estandarizan las velocidades de transferencia de datos, la forma de control que utiliza dicha transferencia, los niveles de voltajes utilizados, el tipo de cable permitido, las distancias entre equipos, los conectores, etc.

Además de las líneas de transmisión (Tx) y recepción (Rx), las comunicaciones seriales poseen otras líneas de control de flujo (*Hand-shake*), donde su uso es opcional dependiendo del dispositivo a conectar.

A nivel de software, la configuración principal que se debe dar a una conexión a través de puertos seriales. RS-232 es básicamente la selección de la velocidad en baudios (1200, 2400, 4800, etc.), la verificación de datos o paridad (paridad par o paridad impar o sin paridad), los bits de parada luego de cada dato (1 ó 2), y la cantidad de bits por dato (7 ó 8), que se utiliza para cada símbolo o carácter enviado.

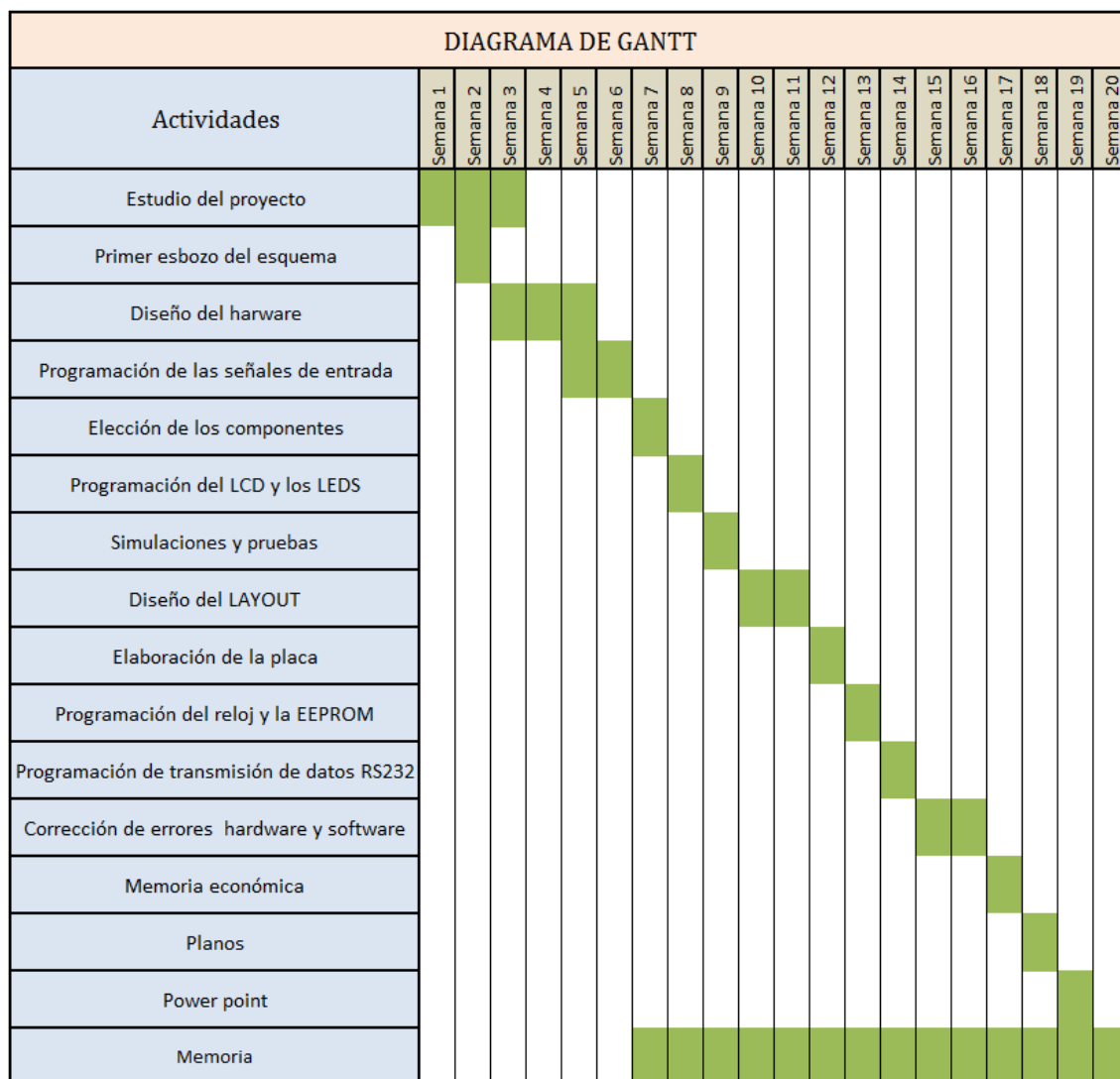
La Norma RS-232 fue definida para conectar un ordenador a un modem. Además de transmitirse los datos de una forma serie asíncrona son necesarias una serie de señales adicionales, que se definen en la norma. Las tensiones empleadas están comprendidas entre +15/-15 voltios.

### 11.4.1. Señales de la RS-232

- **Request To Send (RTS):** Esta señal se envía de la computadora (DTE) al módem (DCE) para indicar que se quieren transmitir datos. Si el módem decide que esta OK, asiente por la línea CTS. Una vez la computadora prende la señal RTS, esperará que el módem asiente la línea CTS. Cuando la señal CTS es afirmado por el módem, la computadora empezará a transmitir datos.
- **Clear To Send (CTS):** Afirmado por el módem después de recibir la señal de RTS indica que la computadora puede transmitir.
- **Data Terminal Ready (DTR):** Esta línea de señal es afirmada por la computadora, e informa al módem que la computadora está lista para recibir datos.
- **Data Set Ready (DSR):** Esta línea de señal es afirmada por el módem en respuesta a una señal de DTR de la computadora. La computadora supervisa el estado de esta línea después de afirmar DTR para descubrir si el módem esta encendido.
- **Receive Signal Line Detect (RSLD):** Esta línea de control es afirmada por el módem e informa a la computadora que se ha establecido una conexión física con otro módem. A veces se conoce como detector de portadora (CD). sería un error que una computadora transmita información a un módem si esta línea no está prendida, es decir si la conexión física no funciona.
- **Transmit Data (TD):** es la línea por donde el dato se transmite de un bit a la vez
- **Receive Data (RD):** es la línea por donde el dato se recibe de un bit a la vez.

## Capítulo 11

# Planificación



**Figura 65.** Diagrama de Gantt

## Capítulo 12

# Posibles mejoras

### 12.1. Mejoras en diseño

En cuanto al diseño del prototipo electrónico se pueden incluir varias mejoras:

- Reducir el tamaño total del dispositivo usando tecnología SMD
- Disminuir el uso de botones a 3 (set,move,back)
- Conexión/desconexión "push" al sistema de sensores
- Batería externa más pequeña
- Uso de filtros activos de mayor orden
- LCD de mejor calidad

### 12.2. Mejoras en funcionalidad

- Depuración del código interno
- Incluir un sistema de menús
- Programación de eventos o alarmas
- Programa activo de ayuda para uso de menor combustible

### 12.3. Mejoras en comunicación

- Salida de datos USB-USB
- Salida de datos USB-smartphone
- Comunicación inalámbrica Bluetooth

### 12.4. Mejoras en software externo

- "Labview" que es un software más potente de análisis y visualización
- Historial de eventos registrados
- Gráficas de análisis

## 12.5. Mejoras en packaging

- Diseño ergonómico
- Diseño atractivo
- Diseño que cumpla las debidas protecciones IP

## 12.6. Conclusiones

Como conclusiones de este proyecto se puede decir que motiva a los alumnos a desarrollar una capacidad de investigación y desarrollo de forma autónoma. Se aprende a desarrollar un proyecto estructurado y cumpliendo una serie de marcas en sus delimitados marcos de tiempo. No obstante, a veces es inevitable que ciertas marcas no lleguen a cumplirse en el tiempo establecido por ciertos imprevistos o complicaciones.

Este proyecto se ha realizado con un equipo de dos miembros, con lo cual ambos participantes se pueden distribuir la carga de trabajo de forma más eficiente, ya que cada uno se puede centrar más en los apartados que le sean de más facilidad u agrado. En este caso se ha realizado todo el proyecto de forma conjunta exceptuando algunos apartados que son:

- **Software:** Daniel Bassons González
- **Simulaciones, Filtros:** Marc Mestre López

Para finalizar, añadir que pese a las dificultades encontradas durante la realización del proyecto, una vez todo se resuelve y sale como se esperaba, se obtiene una gran satisfacción personal.





## Capítulo 13

# Bibliografía

COMPILADOR C CCS Y SIMULADOR PROTEUS PARA MICROCONTROLADORES PIC de  
García, Eduardo Ed. Alfaomega Grupo Editor, S.A. ISBN: 978-970-15-1397-2

PIC MICROCONTROLLERS - PROGRAMMING IN BASIC de Milan Verle mikroElektronika  
1st edition (2010) ISBN-13: 978-86-84417-18-5

LINEAS Y FILTROS ELECTRONICOS de Guillermo Garcia Talavera Ed. Limusa  
ISBN: 9789681857806

ELECTRÓNICA DIGITAL Y MICROPROGRAMABLE DE JOSÉ M<sup>a</sup> ANGULO USATEGUI  
MADRID : PARANINFO, COP. 2007 ISBN: 9788497325059

DISEÑO DE CIRCUITOS IMPRESOS CON ORCAD CAPTURE Y LAYOUT (V.9.2.)  
MARIA AUXILIADORA RECASENS BELLVER; JOSE GONZALEZ CALABUIG , S.A. EDICIONES  
PARANINFO, 2002

DISEÑO ELECTRONICO, 3<sup>a</sup> EDICIÓN, C. J. SAVANT (EDITORIAL PRENTICE-HALL)

<http://es.scribd.com/doc/156003294/Tesis-Detector-Dioxido-de-Carbono-Part-3#scribd>

<http://sandboxelectronics.com/?p=147>

[http://www.mikroe.com/download/eng/documents/publications/other-  
books/libro\\_simulacion\\_mikroc.pdf](http://www.mikroe.com/download/eng/documents/publications/other-books/libro_simulacion_mikroc.pdf)

[http://iesmachado.org/web%20insti/depart/electr/apuntes/files/dpe/curso2/proyecto  
s/pic\\_f\\_877/I2C/TEMA\\_20\\_1perifericos\\_i2c.pdf](http://iesmachado.org/web%20insti/depart/electr/apuntes/files/dpe/curso2/proyectos/pic_f_877/I2C/TEMA_20_1perifericos_i2c.pdf)

<https://www.ccsinfo.com/forum/viewtopic.php?t=23255>

[http://www.ccsinfo.com/faq.php?page=write\\_eeprom\\_not\\_byte](http://www.ccsinfo.com/faq.php?page=write_eeprom_not_byte)

<http://perso.wanadoo.es/pictob/comserie.htm>

<http://www.cplusplus.com/reference/cstdio/printf/>

<https://www.maximintegrated.com/en.html>

<http://www.alldatasheet.es/>

<http://www.granabot.es/Modulos/dpe/Apuntes/Tema%201.6.5.pdf>

[http://iesmachado.org/web%20insti/depart/electr/apuntes/files/eec/curso1/analogica/ARES/ARES\\_03\\_1.pdf](http://iesmachado.org/web%20insti/depart/electr/apuntes/files/eec/curso1/analogica/ARES/ARES_03_1.pdf)